

Pengukuran Emisi CO₂ Tanah dan Karakteristik Lingkungan Mikro pada Beberapa Penggunaan Lahan Pertanian di Kabupaten Kulon Progo

Dinda Pratiwi^a, Mukhamad Ngainul Malawani^{a,1*}, Nor Muhammad Iskandar^b, Tiara Handayani^c, Meru Sigit Estiono^a, Muhammad Hilmii^a, Muhammad Rafie Hazim^a

^a Departemen Geografi Lingkungan, Fakultas Geografi, UGM

^b Magister Pengelolaan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, UGM

^c Sains Informasi Geografi, Fakultas Pendidikan Ilmu Pengetahuan Sosial, UPI

¹ malawani@ugm.ac.id

*korespondensi penulis

Informasi artikel	ABSTRAK
<i>Sejarah artikel</i> Diterima : 3 Juli 2025 Revisi : 5 November 2025 Dipublikasikan : 30 November 2025 Kata kunci: Emisi CO₂ tanah LI-COR 870 Penggunaan lahan pertanian Sifat tanah Siklus karbon	Emisi karbon dioksida (CO₂) tanah merupakan salah satu sumber emisi gas rumah kaca yang dapat dipengaruhi oleh aktivitas penggunaan lahan pertanian. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur emisi CO₂ tanah serta karakteristik lingkungan mikro pada tiga jenis penggunaan lahan pertanian, yaitu sawah irigasi, kebun tebu, dan ladang jagung di Kabupaten Kulon Progo. Pengukuran dilakukan menggunakan metode <i>closed dynamic chamber</i> dengan alat LI-COR 870. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ladang jagung memiliki emisi CO₂ rata-rata tertinggi (4,19 μmol/m²/s), diikuti oleh sawah irigasi (3,63 μmol/m²/s), dan terendah pada kebun tebu (1,64 μmol/m²/s). Variasi emisi dipengaruhi oleh perbedaan intensitas pengolahan tanah dan pemupukan. Praktik ini menyebabkan adanya variasi kondisi lingkungan mikro tanah sehingga berpengaruh pada laju emisinya. Semua parameter lingkungan yang diukur memiliki tren yang sesuai dengan teori yang berkembang, namun hanya konduktivitas listrik tanah (EC) yang menunjukkan korelasi paling kuat terhadap emisi CO₂ di daerah penelitian. Temuan dari penelitian ini menunjukkan bahwa variasi pengolahan tanah dan pemupukan tidak hanya berpengaruh terhadap produktivitas tanah tetapi juga pada besarnya kontribusi sektor pertanian terhadap emisi karbon. Penelitian ini memberikan perspektif baru dengan mengombinasikan analisis karakteristik lingkungan mikro tanah dan pengukuran langsung emisi CO₂ menggunakan LI-COR 870 yang belum banyak dilakukan pada lahan pertanian tropis di Indonesia untuk mengkaji dinamika emisi karbon.
Keywords: Agricultural Landuse	ABSTRACT Soil carbon dioxide (CO₂) emissions are one source of greenhouse gas emissions that can be affected by agricultural land use activities. This

Carbon cycle
LI-COR 870
Soil CO₂ emission
Soil Properties

study aims to measure soil CO₂ emissions and microenvironment characteristics in three types of agricultural land use, namely irrigated rice fields, sugarcane fields, and corn fields in Kulon Progo Regency. Measurements conducted by using the closed dynamic chamber method with the LI-COR 870 tool. The results showed that cornfields had the highest average CO₂ emissions (4.19 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), followed by irrigated rice fields (3.63 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), and the lowest in sugarcane plantations (1.64 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). Differences of tillage and fertilization practices influence the variation of soil CO₂ emissions. These practices cause variations in soil microenvironmental conditions, which affect the emission rate. All of the measured environmental parameters displayed consistent trends with theory, but only soil electrical conductivity (EC) showed the strongest correlation with CO₂ emissions. The findings from this study indicate that variations in soil tillage and fertilizer application influence not only soil productivity but also the extent of carbon emissions from the agricultural sector. This study offers a new perspective by combining an analysis of soil microenvironment characteristics with direct CO₂ emission measurements using a LI-COR 870, which has yet to be widely implemented to examine carbon emission dynamics in tropical agricultural areas in Indonesia.

© 2025 (Pratiwi, dkk). All Right Reserved

Pendahuluan

Perubahan iklim global ditandai dengan adanya peningkatan suhu rata-rata permukaan bumi, yang disebabkan oleh kenaikan konsentrasi gas rumah kaca, seperti metana (CH₄), karbon dioksida (CO₂), dan dinitrogen oksida (N₂O). Khusus untuk kasus CO₂, emisi gas ini telah mengalami lonjakan besar dari sebelum hingga sesudah era industri, yaitu dari 280 ppm menjadi 401 ppm ([Prasad et al., 2017](#)). Emisi CO₂ global juga mengalami peningkatan sebesar 4,8% pada tahun 2021, dan meningkat kembali 1,5% di tahun 2022, serta hanya meningkat 0,1% di tahun 2023 ([Liu et al., 2022](#); [Liu et al., 2023](#); [Liu et al., 2024](#)). Gas CO₂ bisa berasal dari sektor energi, aktivitas antropogenik, dan juga dari proses alami. Aktivitas antropogenik menjadi salah satu penyebab percepatan akumulasi gas-gas rumah kaca seperti intensifikasi pertanian, pembakaran bahan bakar fosil, dan deforestasi ([Keniah, 2023](#)).

Dalam siklus karbon global, tanah dapat berperan sebagai penyerap sekaligus sumber emisi CO₂ alami. Tanah adalah penyimpan karbon

terbesar di permukaan bumi. Di dalam tanah, karbon berperan sebagai pengendali fungsi hidrologi, kimia, dan biologi (Abbas et al., 2020). Karbon yang tersimpan dalam tanah, yang dikenal sebagai *Soil Organic Carbon* (SOC) merupakan hasil dari akumulasi bahan organik yang berasal dari residu tanaman dan aktivitas biotik di dalam tanah ([Gerke, 2022](#)). Selain menyimpan dan menyerap karbon dalam jangka waktu yang lama, tanah juga melepas karbon melalui berbagai proses biofisik ke atmosfer yang menghasilkan emisi CO₂ ([Abbas et al., 2020](#)). Emisi CO₂ dari tanah ini dihasilkan dari respirasi mikroba dalam tanah, akar tanaman, dan dekomposisi bahan organik ([Kruse et al., 2013](#)). Emisi dari tanah ini menjadi emisi alamiah yang konstan dan terjadi sepanjang waktu. Dalam kasus tertentu, emisi alami ini dapat juga dipengaruhi oleh proses antropogenik.

Pertanian merupakan sektor strategis yang menunjukkan perkembangan signifikan dalam upaya memenuhi kebutuhan pangan dan non-pangan yang terus meningkat seiring pertumbuhan populasi global ([Kopittke et al.,](#)

2019). Perkembangan penggunaan lahan pertanian berdampak besar terhadap keseimbangan karbon global karena peran tanah sebagai sumber maupun penyerap karbon sangat bergantung pada pola penggunaan dan praktik pengelolaannya, di mana perubahan tersebut dapat menyebabkan hilangnya karbon melalui erosi dan respirasi ([Abbas et al., 2020](#); [Blackburn et al., 2022](#)). Aktivitas intensif yang terjadi pada lahan pertanian seperti penggunaan pupuk kimia dan pengolahan tanah dengan cara dibajak menggunakan traktor dapat mempercepat kehilangan karbon pada tanah ([Putra dkk., 2020](#); [Salinas-Alcantara, 2022](#); [Basheer et al., 2024](#)).

Penelitian yang pernah dilakukan oleh [Teodoro et al. \(2024\)](#) di Brazil, membuktikan bahwa sistem pertanian yang intensif serta penggunaan pupuk dalam jumlah yang besar mengakibatkan peningkatan emisi karbon. Dalam penelitian [Putra dkk. \(2020\)](#), dijelaskan adanya perbedaan nilai emisi pada tanaman perkebunan sawit, karet, sayuran, kopi, serta hutan dan jagung. Hutan dan padang rumput memiliki jumlah karbon lebih besar dibandingkan dengan lahan pertanian karena lebih stabil dan minim pengolahan ([Smith, 2008](#)). Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa praktik pengolahan lahan menjadi salah satu penyebab perubahan sifat-sifat tanah yang berdampak pada dinamika siklus karbon dalam tanah, yaitu penyerapan, simpanan dan emisi yang mampu mempengaruhi keseimbangan karbon secara global ([Stockmann et al., 2015](#)). Sebagian besar penelitian tadi berfokus pada sistem pertanian skala luas atau ekosistem hutan dan lahan gambut, sementara kajian mengenai variasi emisi CO₂ tanah pada berbagai jenis penggunaan lahan pertanian di wilayah tropis yang secara bersamaan mengaitkan karakteristik lingkungan mikro tanah (pH, suhu, kelembapan, dan konduktivitas listrik) dengan besarnya emisi CO₂ masih sangat terbatas, terutama pada sistem lanskap dataran aluvial.

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur variasi emisi karbon CO₂ dari tanah di beberapa penggunaan lahan pertanian. Pemahaman

terhadap variasi emisi CO₂ dari berbagai tipe penggunaan lahan ini sangat penting guna mendukung upaya mitigasi perubahan iklim, khususnya dari sektor pertanian. Selain itu, pengukuran sifat-sifat lingkungan mikro tanah dapat memberikan gambaran lebih komprehensif tentang faktor-faktor yang mungkin berpengaruh terhadap fluks CO₂ tanah. Harapannya, penelitian ini tidak hanya dapat menjelaskan proses biofisik yang terjadi di dalam tanah, tetapi juga dapat dijadikan sebagai gambaran umum untuk merumuskan strategi pengelolaan lahan pertanian yang lebih adaptif dan berkelanjutan terhadap isu perubahan iklim. Penelitian ini mengenalkan alat untuk monitoring emisi karbon tanah versi pembaruan, yaitu Licor Li-870. Alat ini termasuk alat versi terbaru yang direkomendasikan untuk pengukuran dan monitoring *greenhouse gases* ([Novita et al., 2023](#)). Alat serupa atau versi sebelumnya baru diaplikasikan untuk pengukuran dan monitoring emisi dan dinamika karbon di lahan gambut ([Farida dkk., 2019](#); [Chadirin dkk., 2016](#); [Astiani dkk., 2015](#)). Kabupaten Kulon Progo dipilih sebagai lokasi penelitian karena saat ini sedang berfokus untuk mengembangkan Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan (KP2B) dengan luasan lebih dari seperempat luas wilayah Kabupaten Kulon Progo.

Metode

Penelitian ini mengukur emisi gas CO₂ di beberapa lahan pertanian di Kabupaten Kulonprogo seperti lahan tebu, sawah, dan ladang jagung. Perbedaan penggunaan lahan pertanian diharapkan dapat memberikan gambaran variasi emisi pada berbagai jenis dan praktik pengolahan lahan pertanian ([Tabel 1](#)). Praktik pengolahan tanah yang berbeda terbukti mempengaruhi emisi CO₂ karena praktik tersebut dapat mengusik tanah dan memicu pelepasan karbon yang tersimpan ([Hashim et al., 2024](#)). Penggunaan pupuk yang beragam juga dapat berpengaruh pada peningkatan emisi gas CO₂ tanah. Pemberian pupuk kimia dan organik dapat meningkatkan

respirasi tanah dan meningkatkan pula akumulasi karbon aktif di dalam tanah ([Wei and Li, 2022](#)).

Tabel 1. Lokasi Sampel Pengukuran Emisi CO₂ Tanah

No	Koordinat	Bentuklahan	Penggunaan Lahan	Pengolahan lahan
1	416239, 914010 (Banyuroto, Nanggulan)	<i>Alluvial plain</i>	Sawah	Pengolahan tanah dilakukan dengan cara dibajak menggunakan traktor Sistem rotasi tanaman yang diterapkan adalah antara padi dan jagung. Petani menerapkan pemupukan sebanyak dua kali dalam satu kali musim tanam menggunakan pupuk kimia jenis phonska.
2	416255, 913607 (Banyuroto, Nanggulan)	<i>Alluvial plain</i>	Kebun Tebu	Lahan tebu dibudidayakan secara monokultur. Lokasi ini tidak mengalami rotasi tanaman dari musim ke musim. Permukaan tanah dipenuhi oleh sisa batang tebu, gulma, serta serasah organik, menunjukkan tidak ada pengolahan lahan yang rutin. Pengolahan tanah juga dilakukan tanpa disertai pemupukan.
3	411099, 902831 (Kulwaru, Wates)	<i>Alluvial plain</i>	Ladang Jagung	Petani menggunakan beberapa jenis pupuk yang diberikan secara bertahap dengan jarak waktu satu minggu. Jenis pupuk yang digunakan seperti TSP 36, phonska, urea, dan NPK 16.

Pengukuran dilakukan dengan metode *closed dynamic chamber*. Pengukuran dilakukan pada siang hari pada waktu yang berdekatan. Siang-sore hari adalah waktu yang efektif untuk mengukur emisi karbondioksida tanah ([Savage dkk., 2014](#)). *Closed dynamic chamber* digunakan untuk mengukur emisi gas, termasuk gas rumah kaca, dari berbagai sumber lingkungan seperti lahan basah dan lahan pertanian ([Suh et al, 2006](#); [Yu et al, 2013](#)). Alat yang digunakan adalah Licor Li-870 H₂O/CO₂ Gas Analyzer dan Licor Smart Chamber ([Gambar 1](#)). Pengukuran dilakukan selama 180 detik pada masing-masing titik

dengan dua kali pengulangan. Untuk pemantauan emisi CO₂, umumnya direkomendasikan agar pengukuran dibatasi selama 90 hingga 180 detik untuk menjaga perubahan konsentrasi gas sekecil mungkin sesuai panduan penggunaan alat ([LI-COR, Inc., 2025](#)). Selain pengukuran respirasi tanah, juga dilakukan pengukuran kondisi lingkungan mikro tanah seperti suhu, kelembaban dan *electric conductivity* (EC) dengan *soil probe* yang terhubung dengan *smart chamber*. Pengukuran pH tanah dilakukan dengan alat terpisah, yaitu menggunakan soil tester.



Gambar 1. Foto perangkat alat LICOR *smart chamber*

emisinya adalah $3,63 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Angka ini setara dengan sekitar $0,0503 \text{ ton CO}_2/\text{ha}/\text{tahun}$.



Gambar 2. Lokasi Pengukuran Emisi CO_2 Tanah di Sawah Irigasi

Hasil

Emisi Karbon Dioksida Tanah di Sawah Irigasi

Sawah irigasi di lokasi penelitian saat pengukuran sedang berada pada masa tanam. Sawah pada lokasi ini merupakan sawah irigasi yang terletak tidak jauh dari saluran irigasi. Pada saat pengukuran, sawah sedang tergenang air dan pada kondisi lahan baru dibajak dengan adanya pengaplikasian pupuk kandang ([Gambar 2](#)). Pengukuran dilakukan dua kali, yaitu dalam kondisi muka tanah tergenang air dan dalam kondisi tanpa genangan air. Hasil pengukuran menunjukkan nilai emisi CO_2 tanah lahan sawah adalah $2,59 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ dalam kondisi tergenang. Terjadi peningkatan emisi hampir dua kali lipat ketika air genangan dikeringkan, yaitu nilai emisi menjadi $4,67 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Berdasarkan dua pengukuran nilai emisi maka rata-rata nilai

Berdasarkan hasil pengukuran, sawah irigasi memiliki nilai pH yang seragam yakni 6,8 mencerminkan kondisi optimal, sehingga tidak memicu lonjakan emisi CO_2 secara signifikan maupun penurunan emisi secara ekstrem. Kelembapan tanah menunjukkan hasil yang berbeda saat kondisi tergenang dan saat dikeringkan. Tanah sedikit lebih lembab ($0,6663 \text{ m}^3/\text{m}^3$) saat tanah tergenang dibandingkan saat dikeringkan ($0,6277 \text{ m}^3/\text{m}^3$). Suhu tanah relatif stabil di kisaran $29,4\text{--}29,6^\circ\text{C}$ baik di pengukuran pertama maupun kedua. Nilai *electrical conductivity* (EC) tanah berkisar antara 0,127 hingga 0,13 S/m setara dengan 1,27 hingga 1,30 dS/m. [Tabel 2](#) menunjukkan hasil pengukuran emisi dan sifat tanah di titik pengukuran sawah irigasi.

Tabel 2. Hasil Pengukuran di Sawah Irigasi

Pengukuran	Emisi ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	PH	Kelembapan (m^3/m^3)	Suhu ($^\circ\text{C}$)	EC (S/m)	Keterangan
1	2,58782	6,8	0,666	29,6	0,12727	Sawah tergenang
2	4,67285	6,8	0,627	29,4	0,13	Genangan air dikeringkan
Rata-rata	3,6303	6,8	0,647	29,5	0,128	

Petani menerapkan dua kali pemupukan dalam satu musim tanam. Pupuk kandang diberikan lebih awal sebelum penanaman padi, bertujuan memperbaiki struktur tanah dan menambah bahan organik. Sementara itu, pupuk kimia jenis phonska diaplikasikan dua kali, yaitu saat tanaman berumur satu minggu dan satu bulan. Pada saat pengukuran, kondisi lahan baru dibajak dan hanya diberi pupuk kandang tanpa aplikasi pupuk kimia jenis phonska, yang mengindikasikan bahwa pembajakan tidak berkontribusi signifikan terhadap peningkatan emisi CO₂ apabila dikombinasikan dengan pemberian pupuk organik.

Emisi Karbon Dioksida Tanah di Kebun Tebu

Kebun tebu yang dijadikan sebagai sampel adalah area perkebunan yang ditanami secara monokultur dengan tutupan vegetasi yang rapat dan tinggi (>2 meter). Terdapat seresah organik yang cukup melimpah di permukaan tanah ([Gambar 3](#)). Hasil pengukuran emisi CO₂ tercatat relatif rendah, yaitu 2,10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ pada saat pengukuran pertama, dan mengalami penurunan saat pengukuran kedua, yaitu 1,19 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Dua pengukuran ini menghasilkan nilai rata-rata emisi sebesar 1,64 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.



Gambar 3. Lokasi Pengukuran Emisi CO₂ di Kebun Tebu

Nilai pH lahan tebu sebesar 6,7. Kelembapan tanah lahan tebu yang tercatat sebesar 0,568 m³/m³. Suhu tanah pada lahan tebu berkisar antara 28,7°C hingga 28,9°C. Suhu permukaan tanah pada lahan tebu cenderung lebih rendah dibandingkan dengan suhu di area sawah karena pada saat pengukuran tajuk atau daun pohon tebu cukup lebat sehingga melindungi tanah dari paparan langsung sinar matahari. Rata-rata nilai *electrical conductivity* (EC) 0,1877 S/m setara dengan 1,87 dS/m. Hasil pengukuran di kebun tebu dapat dilihat pada [Tabel 3](#). Berdasarkan kondisi pengamatan lapangan, tidak ada perlakuan khusus oleh petani dalam mengelola lahan tebu pasca penanaman.

Tabel 3. Hasil Pengukuran di Kebun Tebu

Pengukuran	Emisi ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	PH	Kelembapan (m ³ /m ³)	Suhu (°C)	EC (S/m)
1	2,09577	6,7	0,568	28,9	0.18634
2	1,19357	6,7	0,568	28,7	0.189
Rata-rata	1,6447	6,7	0,568	28,8	0.1877

Emisi Karbon Dioksida Tanah di Ladang Jagung

Lahan jagung pada lokasi pengukuran berada di dataran aluvial yang berada di daerah hilir. Wilayah ini merupakan wilayah yang basah

dan banyak tergenang air. Namun untuk keperluan penanaman jagung, petani lokal membuat lahan lebih tinggi dari pada lahan sawah di sekitarnya agar jagung tidak terdampak langsung oleh genangan air sehingga kondisi lahan cenderung kering ([Gambar 4](#)). Lahan jagung menunjukkan nilai emisi CO_2 rata-rata yang relatif tinggi dengan nilai mencapai $4,70818 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Rata-rata nilai pengukuran emisi dari kedua pengukuran di lahan jagung adalah $4,19 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.

Nilai pH pada lahan jagung bernilai 6. Kelembapan tanah pada lahan jagung tercatat cukup rendah, yaitu $0,32200 \text{ m}^3/\text{m}^3$. Suhu tanah di lahan jagung berkisar $28,4\text{--}28,5^\circ\text{C}$. Suhu pada lahan jagung ini cenderung mirip dengan suhu tanah pada lahan tebu, karena daun dan tajuk jagung pada saat pengukuran juga dalam kondisi cukup lebat. Nilai EC pada ladang jagung sebesar $0,069 \text{ S/m}$. Hasil pengukuran emisi dan karakteristik tanah di lahan jagung dapat dilihat pada [Tabel 4](#).

Tabel 4. Hasil Pengukuran di Lahan Jagung

Pengukuran	Emisi ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	PH	Kelembapan (m^3/m^3)	Suhu ($^\circ\text{C}$)	EC (S/m)
1	4,07818	6	0,322	28,5	0.069
2	3,68095	6	0,322	28,4	0.069
Rata-rata	3,8796	6	0,322	28,4	0.069

Gambar 4. Lokasi Pengukuran Emisi CO_2 di Lahan Jagung

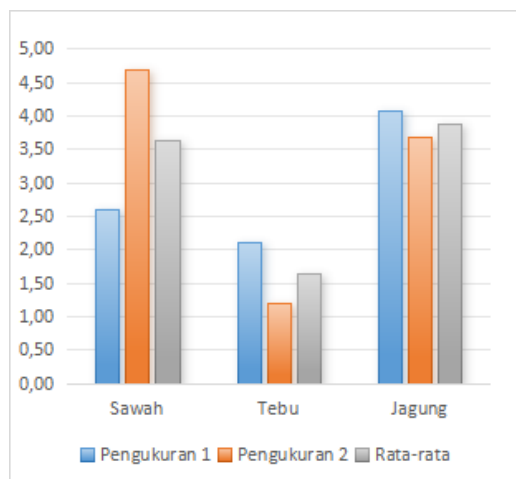
Perbandingan Emisi Karbon Dioksida Tanah

Perbandingan nilai emisi CO_2 tanah pada tiga jenis penggunaan lahan pertanian menunjukkan adanya variasi ([Gambar 5](#)). Nilai rata-rata emisi tertinggi diperoleh pada lahan jagung sebesar $4,19 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, diikuti oleh sawah irigasi sebesar $3,63 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, dan

terendah pada kebun tebu sebesar $1,64 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Selisih nilai antar penggunaan lahan menunjukkan bahwa setiap sistem budidaya menghasilkan tingkat emisi yang berbeda. Lahan jagung menunjukkan nilai emisi yang paling tinggi pada kedua kali pengukuran dengan kisaran $3,68\text{--}4,71 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, sementara lahan tebu menunjukkan nilai terendah dengan kisaran $1,19\text{--}2,10 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Nilai emisi di sawah irigasi berada di antara keduanya, berkisar $2,59\text{--}4,67 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.

Secara keseluruhan nilai emisi CO_2 tanah berbeda pada setiap jenis penggunaan lahan pertanian yang diamati. Variasi ini menggambarkan adanya perbedaan aktivitas pada tanah yang diukur dari tiga sistem pertanian yang berbeda. Rentang nilai keseluruhan dari tiga penggunaan lahan berada pada kisaran $1,6\text{--}4,2 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Pola tersebut juga terlihat pada hasil pengukuran berulang di lapangan, di mana nilai emisi cenderung stabil

pada masing-masing lokasi dengan selisih pengukuran tidak lebih dari 0,5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.

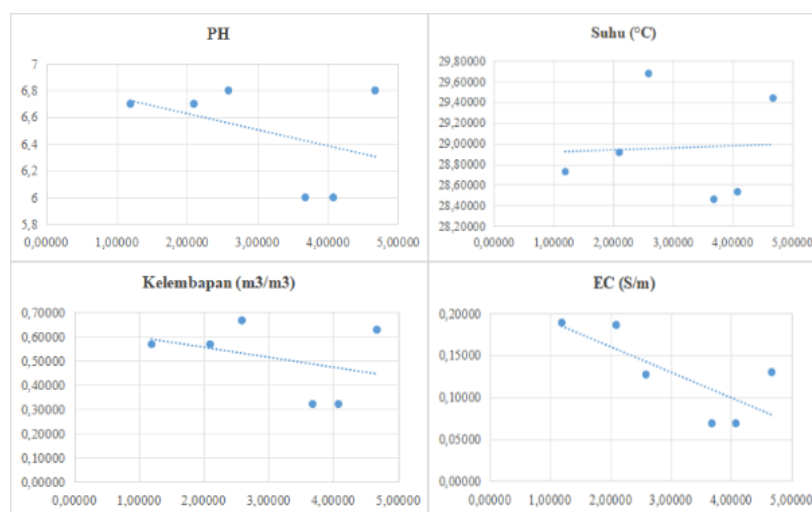


Gambar 5. Perbandingan emisi CO₂ (satuan $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) di tiga jenis penggunaan lahan pertanian

Hubungan Emisi Karbon Tanah dengan Karakteristik Lingkungan Mikro

Hasil pengukuran hubungan antara emisi CO₂ tanah dan karakteristik lingkungan mikro disajikan pada [Gambar 6](#). Berdasarkan hasil yang diperoleh, konduktivitas listrik tanah (EC) menunjukkan hubungan negatif yang paling kuat terhadap nilai emisi CO₂ di lokasi penelitian. Nilai EC yang tinggi cenderung diikuti dengan penurunan nilai emisi. Rentang nilai EC antar lokasi berkisar antara 0,069–0,188 S/m, menunjukkan variasi yang cukup besar dibandingkan dengan parameter lainnya.

Parameter pH, suhu tanah, dan kelembapan tanah memiliki selisih yang relatif sedikit dan cukup stabil selama pengukuran, yaitu masing-masing 6,0–6,8, 28,4–29,6°C, dan 0,32–0,66 m^3/m^3 . Secara umum, kondisi lingkungan mikro di ketiga jenis penggunaan lahan berada dalam kisaran normal, dan hasil pengukuran menunjukkan bahwa perbedaan tingkat emisi CO₂ antar lahan berlangsung bersamaan dengan perbedaan kecil pada kondisi mikro tanah.



Gambar 6. Hubungan beberapa kondisi lingkungan mikro tanah dengan emisi CO₂

Pembahasan

Perbedaan emisi CO₂ antar ketiga jenis penggunaan lahan pertanian dipengaruhi oleh

praktik pengelolaan lahan yang diterapkan. Tingginya emisi di lahan jagung disebabkan oleh sistem pemupukan yang dilakukan secara bertahap dan intensif menggunakan kombinasi pupuk kimia TSP 36, urea, phonska, dan NPK 16.

Aplikasi nitrogen dalam jumlah besar dari urea dan NPK mempercepat aktivitas mikroorganisme tanah, sehingga meningkatkan dekomposisi bahan organik dan respirasi mikroba sebagai proses utama penghasil emisi CO₂ ([Shrestha et al., 2013](#); [Mohammed et al., 2021](#)). Nilai ini tergolong tinggi jika dibandingkan dengan lahan jagung sistem *no-tillage* dengan aplikasi kompos yang hanya mencapai 2,79–3,69 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ([Shrestha et al., 2013](#)). Kelembapan tanah yang rendah (0,32 m^3/m^3) pada lahan jagung juga mendukung difusi oksigen dalam tanah sehingga respirasi mikroba berjalan lebih optimal dan meningkatkan pelepasan CO₂ ([Mohammed et al., 2021](#)).

Sebaliknya, emisi rendah pada kebun tebu terkait dengan minimnya pengolahan tanah dan tidak adanya pemupukan. Meskipun terdapat serasah organik yang melimpah akibat sistem monokultur tanpa rotasi tanaman ([Moitinho et al., 2021](#)), proses dekomposisi berjalan lambat karena terbatasnya nutrisi yang tersedia bagi mikroba. Kondisi ini sejalan dengan karakteristik lahan tebu dengan sistem *minimum tillage*, di mana pengolahan tanah dilakukan secara terbatas tanpa gangguan besar terhadap agregat tanah dengan rata-rata emisi sebesar 3,22 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ([Silva-Olaya et al., 2013](#)). Kelembapan tanah yang relatif tinggi (0,568 m^3/m^3) kemungkinan disebabkan oleh tutupan vegetasi tebu yang rapat dan akumulasi serasah organik di permukaan, meskipun respirasi mikroba tertinggi biasanya terjadi pada kadar air sekitar 40% dari total pori tanah ([Hao et al., 2025](#)).

Dinamika emisi di sawah irigasi menunjukkan pola unik karena pengaruh kondisi genangan air. Emisi lebih rendah saat tergenang (2,59 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) dibandingkan saat dikeringkan (4,67 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). Hal ini sejalan dengan temuan Liu et al. (2013) di lahan sawah Cina Tengah yang menunjukkan fluks CO₂ lebih rendah saat tergenang dibandingkan saat dikeringkan. [Nishimura et al. \(2015\)](#)

menjelaskan bahwa tanah sawah tergenang menghasilkan emisi CO₂ lebih rendah karena kondisi anaerob menekan dekomposisi bahan organik secara aerobik. Selain itu, pada saat pengukuran dilakukan lahan baru dibajak dan hanya diberi pupuk kandang tanpa aplikasi pupuk kimia, yang mengindikasikan bahwa pembajakan tidak berkontribusi signifikan terhadap peningkatan emisi CO₂ apabila dikombinasikan dengan pemberian pupuk organik.

Karakteristik lingkungan mikro tanah menunjukkan pengaruh yang berbeda terhadap emisi CO₂. Nilai pH pada ketiga lokasi berada dalam kisaran 6,0–6,8 yang tergolong optimal untuk aktivitas mikroba dan pertumbuhan tanaman. Kondisi pH netral hingga sedikit asam ini tidak memicu lonjakan maupun penurunan emisi secara ekstrem ([Wang et al., 2013](#); [Zhong et al., 2023](#)). Suhu tanah pada semua lokasi berkisar 28,4–29,6°C yang merupakan suhu optimal untuk dekomposisi bahan organik dan aktivitas mikroba ([Nishimura et al., 2015](#); [Ding et al., 2007](#)), namun bukan faktor pengendali utama kecuali terdapat perbedaan ekstrem ([Silva-Olaya et al., 2013](#)). Nilai EC menunjukkan variasi yang lebih besar antar lokasi, yaitu terendah pada lahan jagung (0,069 S/m), sedang pada sawah irigasi (0,128 S/m), dan tertinggi pada kebun tebu (0,188 S/m), meskipun ketiganya masih tergolong kategori rendah non-salin ([Khoa et al., 2022](#)).

Hubungan antara karakteristik lingkungan mikro dengan emisi CO₂ menunjukkan bahwa hanya EC yang memiliki korelasi negatif kuat dan signifikan. Hal ini disebabkan oleh variasi nilai EC antar lokasi (0,069–0,187 S/m) yang cukup besar dan berdampak signifikan terhadap aktivitas mikroba. Peningkatan EC dapat menyebabkan tekanan osmotik yang menghambat respirasi mikroorganisme tanah sehingga mengurangi laju emisi ([Adviento-Borbe et al., 2006](#)). Sebaliknya, parameter pH, suhu, dan kelembapan berada dalam rentang sempit dan

masih tergolong optimal bagi respirasi mikroba, sehingga tidak menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan untuk memengaruhi variasi emisi CO₂ antar lokasi. Temuan ini menunjukkan bahwa intensitas pemupukan dan pengolahan lahan berpengaruh lebih dominan terhadap emisi CO₂ dibandingkan variasi alami karakteristik lingkungan mikro tanah. Dengan demikian, praktik budidaya yang lebih konservatif dengan minim pengolahan tanah dan pemberian pupuk kimia dapat menjadi langkah efektif untuk menekan emisi CO₂ dari kegiatan pertanian.

Simpulan

Emisi CO₂ tanah bervariasi antar jenis penggunaan lahan pertanian di Kabupaten Kulon Progo. Ladang Jagung memiliki emisi rata-rata tertinggi, diikuti sawah irigasi, dan terendah pada kebun tebu. Faktor lingkungan mikro seperti pH, suhu, kelembapan, dan konduktivitas listrik (EC) juga dapat diamati dan memiliki tren hubungan yang cenderung sesuai dengan pola hubungan pada penelitian-penelitian sebelumnya. Di Lokasi penelitian, karakteristik mikro tanah yang dianggap paling berpengaruh terhadap emisi CO₂ adalah EC. Variasi emisi yang ditemukan pada tiga jenis penggunaan lahan pertanian ini menunjukkan bahwa intensitas pengolahan lahan dan pemupukan akan berpengaruh terhadap laju emisi CO₂. Kombinasi pengolahan tanah yang intensif dan aplikasi pupuk kimia memiliki dampak yang besar terhadap meningkatnya emisi CO₂. Oleh sebab itu, untuk mewujudkan sektor pertanian sebagai sektor rendah emisi karbon upaya yang dapat dilakukan salah satunya adalah dengan pemberlakuan pengaturan pengolahan lahan dan jenis pupuk yang diaplikasikan. Untuk mengetahui dinamika emisi dari sektor pertanian, diperlukan monitoring emisi secara spasial dan temporal pada berbagai jenis penggunaan lahan

pertanian. Penelitian ini masih terbatas pada durasi pengukuran yang singkat sehingga belum menggambarkan variasi temporal harian maupun musiman. Selain itu, belum dilakukan analisis laboratorium terhadap karakteristik tanah seperti kandungan bahan organik tanah maupun karakteristik biologis tanah seperti aktivitas mikroba tanah.

Ucapan terima kasih

Penelitian ini adalah bagian dari kontribusi Laboratorium Geomorfologi Lingkungan dan Mitigasi Bencana untuk mendukung program PUAPT *Food Security* Universitas Gadjah Mada. Kegiatan lapangan juga didukung oleh hibah mandiri Fakultas Geografi UGM.

Referensi

- Abbas, F., Hammad, H. M., Ishaq, W., Farooque, A. A., Bakhat, H. F., Zia, Z., Fahad, S., Farhad, W., & Cerdà, A. (2020). A review of soil carbon dynamics resulting from agricultural practices. *Journal of environmental management*, 268, 110319. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110319>
- Adviento-Borbe, M. A. A., Doran, J. W., Drijber, R. A., & Dobermann, A. (2006). Soil electrical conductivity and water content affect nitrous oxide and carbon dioxide emissions in intensively managed soils. *Journal of Environmental Quality*, 35(6), 1999–2010. <https://doi.org/10.2134/jeq2006.0109>
- Astiani, D., Hatta, M., & Fifian, F. (2015). Soil CO₂ respiration along annual crops or land-cover type gradients on West Kalimantan degraded peatland forest. *Procedia Environmental Sciences*, 28, 132–141.
- Basheer, S., Wang, X., Farooque, A. A., Nawaz, R. A., Pang, T., & Neokye, E. O. (2024). A Review of Greenhouse Gas Emissions from

- Agricultural Soil. Sustainability, 16(11), 4789. <https://doi.org/10.3390/su16114789>
- Blackburn, K. W., Libohova, Z., Adhikari, K., Kome, C., Maness, X., & Silman, M. R. (2022). Influence of land use and topographic factors on soil organic carbon stocks and their spatial and vertical distribution. *Remote Sensing*, 14(12), 2846. <https://doi.org/10.3390/rs14122846>
- Chadirin, Y., Saptomo, S. K., & Osawa, K. (2016). Lingkungan biofisik dan emisi gas CO₂ lahan gambut untuk produksi biomassa yang berkelanjutan. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 21(2), 146-151.
- Ding, W., Cai, Y., Cai, Z., Yagi, K., & Zheng, X. (2007). Soil respiration under maize crops: effects of water, temperature, and nitrogen fertilization. *Soil Science Society of America Journal*, 71(3), 944-951. <https://doi.org/10.2136/sssaj2006.0160>
- Farida, A., Saptomo, S. K., Chadirin, Y., Setiawan, B. I., & Osawa, K. (2019). Pendugaan emisi CO₂ dari lahan gambut dengan menggunakan model artificial neural network (ANN). *Jurnal Keteknik Pertanian*, 7(2), 121-128.
- Gerke, J. (2022). The Central Role of Soil Organic Matter in Soil Fertility and Carbon Storage. *Soil Systems*, 6(2), 33. <https://doi.org/10.3390/soilsystems6020033>
- Hao, Y., Mao, J., Bachmann, C. M., Hoffman, F. M., Koren, G., Chen, H., Tian, H., Liu, J., Tao, J., Tang, J., Li, L., Liu, L., Apple, M., Shi, M., Jin, M., Zhu, Q., Kannenberg, S., Shi, X., Zhang, X., Wang, Y., Fang, Y., & Dai, Y. (2025). Soil moisture controls over carbon sequestration and greenhouse gas emissions: A review. *npj Climate and Atmospheric Science*, 8(16). <https://doi.org/10.1038/s41612-024-00888-8>
- Hashim, Z. K., De Silva, A. G. S. D., Hassouni, A. A., Vona, V. M., Bede, L., Stencinger, D., Horváth, B., Zsebő, S., & Kulmány, I. M. (2024). Effects of Various Herbicide Types and Doses, Tillage Systems, and Nitrogen Rates on CO₂ Emissions from Agricultural Land: A Literature Review. *Agriculture*, 14(10), 1800. <https://doi.org/10.3390/agriculture14101800>
- Keniah, J. (2023). Global warming: A Comprehensive examination. *International Journal of Science and Society*, 5(4), 2023. <https://doi.org/10.54783/ijssoc.v5i4.771>
- Khoa, N. P., Dien, N. T., Ngu, N. H., & Trung, H. D. (2022). Factors affecting the salinity intrusion at the paddy field in thua thien Hue Province, Vietnam. *Indian Journal of Agricultural Research*, 56(4), 449-455. <https://doi.org/10.18805/IJArE.A-630>
- Kruse, J., Simon, J., & Rennenberg, H. (2013). Soil respiration and soil organic matter decomposition in response to climate change. *Developments in environmental science*, 13, 131-149. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-098349-3.00007-4>
- Kopittke, P. M., Menzies, N. W., Wang, P., McKenna, B. A., & Lombi, E. (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment international*, 132, 105078. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078>
- LI-COR, Inc. (2025). *LI-870 CO₂/H₂O Gas Analyzer Operating Instructions*. Lincoln, NE: LI-COR, Inc. Retrieved from <https://www.licor.com/support/LI-870/manuals.html>
- Liu, Y., Wan, K. Y., Tao, Y., Li, Z. G., Zhang, G. S., Li, S. L., & Chen, F. (2013). Carbon dioxide flux from rice paddy soils in central China: effects of intermittent flooding and draining cycles. *PloS one*, 8(2), e56562. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056562>
- Liu, Z., Deng, Z., Davis, S. J., Giron, C., & Ciais, P. (2022). Monitoring global carbon

- emissions in 2021. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3(4), 217-219. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00285-w>
- Liu, Z., Deng, Z., Davis, S., & Ciais, P. (2023). Monitoring global carbon emissions in 2022. *Nature Reviews Earth & Environment*, 4(4), 205-206. <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00406-z>
- Liu, Z., Deng, Z., Davis, S. J., & Ciais, P. (2024). Global carbon emissions in 2023. *Nature Reviews Earth & Environment*, 5(4), 253-254. <https://doi.org/10.1038/s43017-024-00532-2>
- Mohammed, S., et al. (2021). Soil carbon dioxide emissions from maize (*Zea mays* L.) fields as influenced by tillage management and climate. *Irrigation and Drainage*, 71, 228–240. <https://doi.org/10.1002/ird.2633>
- Moitinho, M. R., Teixeira, D. B., Bicalho, E. D. S., Panosso, A. R., Ferraudo, A. S., Pereira, G. T., Tsai, S. M., Borges, B. M. F., & La Scala, N., Jr (2021). Soil CO₂ emission and soil attributes associated with the microbiota of a sugarcane area in southern Brazil. *Scientific reports*, 11(1), 8325. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87479-2>
- Nishimura, S., Yonemura, S., Minamikawa, K., & Yagi, K. (2015). Seasonal and diurnal variations in net carbon dioxide flux throughout the year from soil in paddy field. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 120(1), 63-76. <https://doi.org/10.1002/2014JG002746>
- Novita, N., Gangga, A., Asyhari, A., Putra, C. A. S., Ritonga, R. P., Oktarita, S., & Yeo, S. (2023). Protocol for measuring soil greenhouse gas fluxes in tropical peatlands: Handbook. Yayasan Konservasi Alam Nusantara (YKAN) in collaboration with The Nature Conservancy.
- Prasad, P. V., Thomas, J. M. G., & Narayanan, S. (2017). Global warming effects. *Encyclopedia of applied plant sciences*, 289-299.
- Putra, W. F., Mukhtar, Z., & Sudjatmiko, S. (2020). Emisi karbon permukaan tanah pada beberapa penggunaan lahan di daerah tropis (Kabupaten Bengkulu Selatan). *Naturalis: Jurnal Penelitian Pengelolaan Sumber Daya Alam Dan Lingkungan*, 9(1), 55-65.
- Salinas-Alcántara, L., Vaca, R., del Águila, P., de la Portilla-López, N., Yáñez-Ocampo, G., Sánchez-Paz, L. A., & Lugo, J. A. (2022). Impact of Tillage and Fertilization on CO₂ Emission from Soil under Maize Cultivation. *Agriculture*, 12(4), 555. <https://doi.org/10.3390/agriculture12040555>
- Savage, K., Phillips, R., & Davidson, E. (2014). High temporal frequency measurements of greenhouse gas emissions from soils. *Biogeosciences*, 11(10), 2709-2720.
- Shrestha, R. K., Lal, R., & Rimal, B. (2013). Soil carbon fluxes and balances and soil properties of organically amended no-till corn production systems. *Geoderma*, 197–198, 177–185. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.01.005>
- Silva-Olaya, A.M., Cerri, C.E.P., La Scala Jr, N., Dias, C.T.S., & Cerri, C.C. (2013). Carbon dioxide emissions under different soil tillage systems in mechanically harvested sugarcane. *Environmental Research Letters*, 8(1), 015014. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/015014>
- Smith, P. (2008). Land use change and soil organic carbon dynamics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 81(2), 169–178. <https://doi.org/10.1007/s10705-007-9138-y>

- Stockmann, U., Padarian, J., McBratney, A., Minasny, B., de Brogniez, D., Montanarella, L., Hong, S.Y., Rawlins, B.G. and Field, D.J. (2015). Global soil organic carbon assessment. *Global Food Security*, 6, pp.9-16.
- Suh, S. U., Chun, Y. M., Chae, N. Y., Kim, J., Lim, J. H., Yokozawa, M., ... & Lee, J. S. (2006). A chamber system with automatic opening and closing for continuously measuring soil respiration based on an open-flow dynamic method. *Ecological Research*, 21, 405-414. <https://doi.org/10.1007/s11284-005-0137-7>
- Teodoro, P. E., Rossi, F. S., Teodoro, L. P. R., Santana, D. C., Ratke, R. F., de Oliveira, I. C., Della Silva, J. L., de Oliveira, J. L. G., da Silva, N. P., Baio, F. H. R., Torres, F. E., & da Silva Junior, C. A. (2024). Soil CO₂ emissions under different land-use managements in Mato Grosso do Sul, Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 434, 139983. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139983>
- Wang, L., Du, H., Han, Z., & Zhang, X. (2013). Nitrous oxide emissions from black soils with different pH. *Journal of environmental sciences (China)*, 25(6), 1071–1076. [https://doi.org/10.1016/s1001-0742\(12\)60129-6](https://doi.org/10.1016/s1001-0742(12)60129-6)
- Wei, J., & Li, Y. (2022). Effects of bioorganic fertilizer and high carbon base fertilizer on some soil quality indexes in forage fields. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 59(3). Doi: 10.21162/PAKJAS/22.953
- Yu, K., Hiscox, A., & DeLaune, R. D. (2013). Greenhouse gas emission by static chamber and eddy flux methods. *Methods in biogeochemistry of wetlands*, 10, 427-437. <https://doi.org/10.2136/sssabookser10.c22>
- Zhong, Y., Yan, W., Canisares, L. P., Wang, S., & Brodie, E. L. (2023). Alterations in soil pH emerge as a key driver of the impact of global change on soil microbial nitrogen cycling: Evidence from a global meta-analysis. *Global Ecology and Biogeography*, 32(1), 145-165. <https://doi.org/10.1111/geb.13616>