

## **ANALISIS SISTEM PENGOLAHAN TANAH TERHADAP EMISI CO<sub>2</sub> DARI TANAH PADA TANAMAN KARET UMUR 12 TAHUN**

*Analysis of Tillage System on Soil CO<sub>2</sub> Emissions in the 12-Years-Old Rubber Trees*

Charlos Togi STEVANUS<sup>1\*</sup>, BAKRI<sup>2</sup>, Budhi SETIAWAN<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Pengelolaan Lingkungan, Program Pascasarjana,  
Universitas Sriwijaya

<sup>2</sup>Dosen Program Studi Pengelolaan Lingkungan, Program Pascasarjana,  
Universitas Sriwijaya

<sup>3</sup>Dosen Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

\*Email: [togie\\_stevanus@yahoo.co.id](mailto:togie_stevanus@yahoo.co.id)

Diterima: 22 Februari 2024 / Disetujui: 1 Juni 2024

### **Abstract**

*Land preparation in rubber plantation is generally carried out mechanically because not only being fast, this system is also effective removing roots and wood in rubber planting areas. However, because the costs of preparing land using mechanization are high and there is a ban a burning method in land preparation, so the majority of smallholder rubber plantation and large rubber plantation like Industrial Plantation Forest (HTI) prefer to use land preparation with no tillage. No tillage has an effect on CO<sub>2</sub> emissions which is a contributor to greenhouse gases. This aim of this research is to compare the effect of no and tillage system on CO<sub>2</sub> emission in 12-years-old rubber plants and analyze the factors that influence them. The research was carried out from June to July 2023 at the Rubber Plantation of Rubber Research Institute in 2011 planting year. The method used was measuring CO<sub>2</sub> emissions in tillage and no tillage on 12-year-old rubber plantation and analyzing them using t-test. Factor variables influence CO<sub>2</sub> emissions in this study include: c-organic, bulk density and water content and they were analyzed by using correlation test. The results of the study showed that temporary CO<sub>2</sub> emissions from no tillage were significantly higher than tillage. The result of the correlation analysis showed that c-organic and water content have a significant positive correlation with CO<sub>2</sub> emissions, and bulk density has a significant negative correlation with C)2 emission.*

**Keyword:** CO<sub>2</sub> emissions, rubber plantation, no tillage, tillage, greenhouse gases

### **Abstrak**

Pengolahan tanah di perkebunan karet umumnya dilakukan secara mekanis karena selain cepat, sistem ini juga efektif dalam mengeluarkan perakaran dan kayu pada area penanaman karet. Namun karena biaya penyiapan lahan secara mekanis besar dan adanya larangan metode bakar pada persiapan lahan menyebabkan sebagian besar perkebunan karet rakyat maupun perkebunan karet besar berstatus Hutan Tanaman Industri (HTI) lebih memilih menggunakan penyiapan lahan dengan tanpa olah tanah. Hal ini mempunyai efek terhadap emisi CO<sub>2</sub> sebagai penyumbang gas rumah kaca. Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan pengaruh sistem tanpa olah tanah dan olah tanah terhadap emisi CO<sub>2</sub> pada tanaman karet berumur 12 tahun serta menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhinya. Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni sampai Juli 2023 di Kebun Pusat Penelitian Karet di tanaman karet tahun tanam 2011. Metode yang digunakan adalah mengukur emisi CO<sub>2</sub> pada perlakuan tanpa olah tanah dan olah tanah pada perkebunan karet umur 12 tahun dan menganalisis menggunakan uji-t. Variabel faktor yang mempengaruhi emisi CO<sub>2</sub> pada penelitian ini antara lain : C-organik, bobot isi dan kadar air dan dianalisis menggunakan uji korelasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi CO<sub>2</sub> sesaat perlakuan tanpa pengolahan tanah lebih tinggi dan berbeda nyata dibandingkan olah tanah. Hasil uji analisis korelasi menunjukkan bahwa c-organik dan kadar air berkorelasi positif signifikan terhadap emisi CO<sub>2</sub>, sementara bobot isi nyata

berkorelasi negatif signifikan terhadap emisi CO<sub>2</sub>.

Kata kunci : emisi CO<sub>2</sub>, Perkebunan karet, tanpa olah tanah, pengolahan tanah, gas rumah kaca

## PENDAHULUAN

Karet alam merupakan salah satu komoditas ekspor penting sampai saat ini. Berdasarkan data Statistik Indonesia (2022), ekspor karet alam merupakan tertinggi kedua di Indonesia setelah minyak kelapa sawit dengan nilai *Free On Board* (FOB) sebesar 2,9 miliar US\$. Selain berperan penting dalam perekonomian Indonesia, perkebunan karet juga berkontribusi dalam menjaga kelestarian lingkungan seperti dalam mengurangi kandungan CO<sub>2</sub> di atmosfer. Data yang dilaporkan oleh Kusdiana et al., (2012) menunjukkan bahwa klon RRIM 600 dapat menyerap CO<sub>2</sub> sebesar 1.288 ton per hektar (ha) dan klon GT 1 dapat menyerap CO<sub>2</sub> sebesar 1.028 ton per hektar untuk satu siklus tanaman. Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Stevanus & Sahuri (2014) menyebutkan bahwa penyerapan CO<sub>2</sub>/tahun pada perkebunan karet berumur 3 tahun mencapai 32,34 ton CO<sub>2</sub>/ha.

Menurut Tubiello et al., (2013), emisi langsung dari pertanian menyumbang 10-12 % dari emisi gas rumah kaca global. Jumlah CO<sub>2</sub> yang keluar ke atmosfer dari lahan pertanian sebagian besar dipengaruhi oleh banyaknya karbon organik di tanah (Robertson, 2014). Bahan organik akan stabil dan terlindungi dari degradasi karena tersimpan dalam agregat tanah (Jensen et al., 2020; Linsler et al., 2013; Zhou et al., 2016). Ketika agregat tersebut dihancurkan karena pengolahan tanah, maka akan mempercepat hilangnya bahan organik tanah dengan meningkatkan konsentrasi oksigen masuk ke dalam tanah (Cooper et al., 2021; Szostek et al., 2022). Agregat mikro akan lebih stabil dibandingkan dengan agregat makro (Felde et al., 2021; Igwe & Obalum, 2013) dan pengolahan tanah akan lebih mudah menghancurkan agregat makro dibandingkan agregat mikro yang membuat bahan organik di dalam agregat makro lebih

rentan terhadap mineralisasi penyebab emisi gas rumah kaca (Artemyeva & Kogut, 2016; Balesdent et al., 2000)

Pengolahan tanah di perkebunan karet umumnya dilakukan secara mekanis. Hal ini dilakukan karena selain cepat, pengolahan tanah mekanis juga efektif dalam mengeluarkan perakaran dan kayu pada area penanaman karet. Namun karena biaya penyiapan lahan menggunakan mekanisasi besar dan adanya larangan metode bakar pada persiapan lahan menyebabkan sebagian besar perkebunan karet rakyat maupun perkebunan karet besar berstatus Hutan Tanaman Industri (HTI) lebih memilih menggunakan penyiapan lahan dengan tanpa olah tanah. Menurut Nugroho (2019), biaya mekanisasi untuk penyiapan lahan perkebunan karet mencapai 25 % dari biaya investasi. Sistem persiapan lahan tanpa olah tanah merupakan praktik pertanian yang meminimalkan penghancuran tanah sehingga dapat melestarikan dan mengakumulasi bahan organik tanah (Haddaway et al., 2017). Kegiatan tanpa olah tanah ikut menunjang pemenuhan target global di negara Indonesia sebagai upaya pengurangan penyerapan karbon dari sektor pertanian melalui penyerapan karbon tanah. Penelitian mengenai analisis sistem pengolahan tanah terhadap emisi CO<sub>2</sub> penting dilakukan sebagai upaya pengurangan emisi CO<sub>2</sub> sesuai dengan target *Nationally Determined Contribution* (NDC) Indonesia untuk menurunkan emisi gas rumah kaca dari sektor kehutanan dan mencapai 549 Mton CO<sub>2</sub>e pada tahun 2050, dan mencapai keadaan keseimbangan antara emisi dan pengurangan kandungan CO<sub>2</sub> atmosfer (*net-zero emission*) pada 2060 atau secepatnya (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2021). Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan pengaruh sistem tanpa dan olah tanah terhadap emisi CO<sub>2</sub> pada tanaman karet berumur 12 tahun serta menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhinya.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni sampai Juli 2023 di Kebun Pusat

Penelitian Karet (104°30'30"E dan 2°57'30"S), Sembawa, Sumatera Selatan pada lahan yang telah ditanami tanaman karet pada tahun 2011. Metode yang digunakan dalam penelitian menggunakan metode kuantitatif eksperimen dengan membandingkan 2 (dua) perlakuan yaitu olah tanah dan tanpa olah tanah dalam mempengaruhi emisi CO<sub>2</sub> beserta faktor-faktor yang mempengaruhinya. Jarak tanam karet yang digunakan adalah 6 x 3 meter. Perlakuan olah tanah dilakukan saat penyiapan lahan pada tahun 2011 dengan mencabut sisa tanaman kemudian ditumpuk menjadi *stacking*. Bajak dan garu dilakukan 2 kali dengan kedalaman 40 cm. Sementara perlakuan tanpa olah tanah dilakukan pencabutan tunggul tanaman dan ditumpuk kemudian *distacking* tanpa melakukan bajak dan garu.

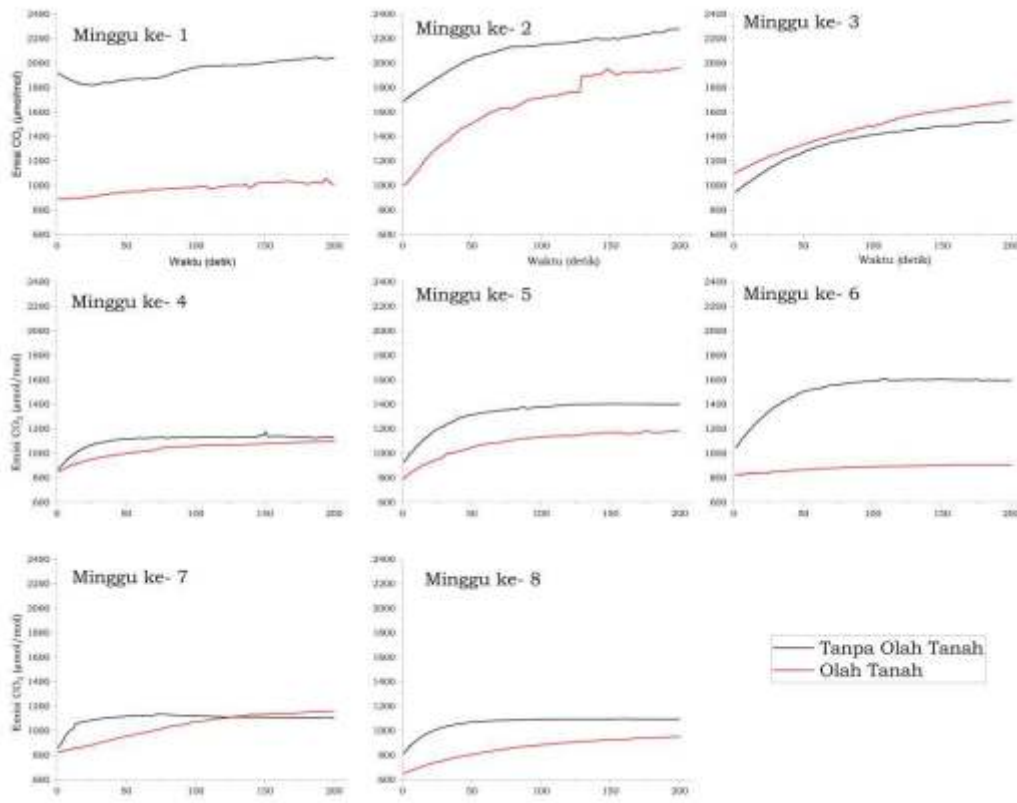
Pengamatan pada penelitian ini antara lain : emisi CO<sub>2</sub> tanah, C-organik, bobot isi dan kadar air. Pengukuran emisi CO<sub>2</sub> dilakukan dengan menggunakan metode sungkup paralon. Pipa berdiameter 2 inci dengan panjang 20 cm ditanam ke tanah sampai kedalaman ± 15 cm. Pipa kemudian ditutup dengan tutup paralon yang sudah dilubangi oleh selang untuk mengaliri emisi CO<sub>2</sub> yang keluar dari tanah. Pada penelitian ini, fluktuasi CO<sub>2</sub> dibaca oleh *Infra Red Gas Analyzer* (IRGA) dengan menggunakan alat CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O gas analyzer LI-850. Pengukuran dilakukan setiap minggu selama 1 bulan atau sampai terlihat pola emisi CO<sub>2</sub> pada penelitian ini. Konsentrasi gas CO<sub>2</sub> akan dibaca setiap detik selama pengukuran. Jarak pengukuran emisi dari satu titik ke titik lainnya adalah 15 meter. Setiap perlakuan terdapat 9 titik sampel emisi CO<sub>2</sub> yang diambil.

Pengambilan tanah untuk analisis C-organik dan kadar air menggunakan metode contoh tanah terganggu sementara untuk bobot isi menggunakan contoh tanah utuh. Menurut Xavier *et al.*, (2019) kandungan bahan organik tanah pada sistem tanpa olah tanah akan berpengaruh terhadap emisi CO<sub>2</sub> pada lapisan tanah 0-10 cm karena akumulasi bahan organik dan perakaran banyak berkumpul pada kedalaman tersebut. Berdasarkan referensi tersebut,

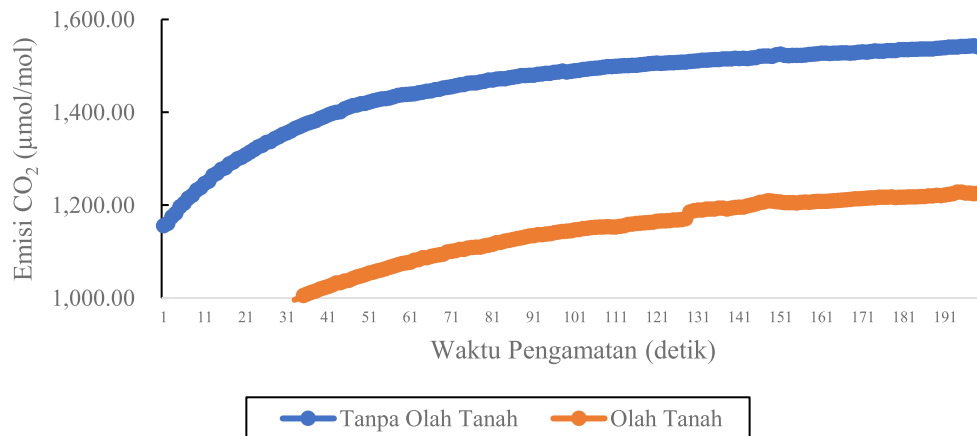
pengambilan contoh tanah pada penelitian ini hanya pada kedalaman 0-20 cm. Pengambilan contoh tanah utuh dalam keadaan tidak terganggu dengan menggunakan ring sampel sehingga kondisinya hampir menyamai kondisi di lapangan. Setiap 1 perlakuan akan diambil 1 sampel dan diulang sebanyak 3 (tiga) kali secara representatif. Sementara itu, contoh tanah terganggu diambil dengan menggunakan cangkul kemudian dikemas menggunakan kantong plastik. Selain untuk analisis C-organik, contoh tanah terganggu diambil sebanyak 10 gram untuk pengukuran kadar air tanah. Analisis C-organik dan bobot isi dilakukan 1 kali pada awal penelitian sedangkan pengukuran kadar air dilakukan seminggu sekali bersamaan dengan pengamatan emisi CO<sub>2</sub>.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pola emisi CO<sub>2</sub> mengalami penurunan baik perlakuan olah tanah maupun tanpa olah tanah selama pengamatan. Secara statistik, emisi CO<sub>2</sub> pada tanpa pengolahan tanah lebih tinggi setiap minggunya dan berbeda nyata dibandingkan dengan olah tanah. Pola emisi CO<sub>2</sub> setiap minggu pada perlakuan tanpa dan dengan olah tanah dapat dilihat pada Gambar 1. Sementara itu, perlakuan tanpa olah tanah nyata meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> sebesar 25,85 % dibandingkan dengan olah tanah (Gambar 2). Emisi CO<sub>2</sub> di awal pengolahan diduga tinggi karena adanya respirasi mikroba untuk mendegradasi bahan organik di tanah. Hasil penelitian Alskaf *et al.*, (2021) menunjukkan adanya peningkatan emisi CO<sub>2</sub> berkisar 40% - 56 % dibandingkan dengan tanpa atau minimum pengolahan tanah pada 2 tahun setelah pengolahan tanah. Setelah terjadi mineralisasi bahan organik, emisi CO<sub>2</sub> di dalam tanah menjadi berkurang. Berbeda dengan olah tanah, sistem tanpa olah dalam penelitian ini tidak membalik tanah sehingga kemungkinan bahan organik dari sisa perakaran masih terdapat di dalam tanah bahkan dalam jangka waktu 12 tahun.



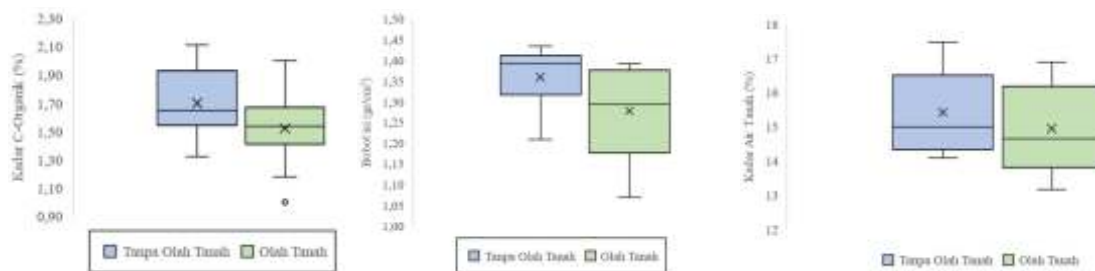
Gambar 1. Pola emisi CO<sub>2</sub> perlakuan dengan dan tanpa olah tanah di perkebunan karet  
 Figure 1. CO<sub>2</sub> emission pattern between tillage and no tillage in rubber plantation



Gambar 2. Rerata emisi CO<sub>2</sub> dari perlakuan dengan dan tanpa olah tanah di perkebunan karet  
 Figure 2. Average CO<sub>2</sub> emissions of tillage and no tillage in rubber plantation

Gambar 3 menunjukkan bahwa data kadar bahan organik, bobot isi kadar air tergolong seragam karena standar deviasinya yang kecil. Data-data tersebut tidak ada *out-layer* kecuali pada data kadar bahan organik pada perlakuan olah tanah. Berdasarkan uji-t, nilai kadar bahan organik, bobot isi dan kadar air tidak berbeda nyata pada perlakuan tanpa olah tanah dan olah tanah. Rerata kadar bahan organik tanpa olah tanah lebih tinggi 11,85 % dibandingkan dengan olah tanah dimana

rerata bahan organik tanpa olah tanah adalah 1,70 % sementara olah tanah sebesar 1,52 %. Rerata bobot isi pada perlakuan tanpa olah tanah menunjukkan nilai 1,36  $g/cm^3$  sementara olah tanah sebesar 1,28  $g/cm^3$  sehingga ada kenaikan 6,32 % pada perlakuan olah tanah dibandingkan tanpa olah tanah. Sementara itu, rerata kadar air pada perlakuan tanpa olah tanah, yaitu 15,42 %, lebih tinggi 3,19 % dibandingkan olah tanah yang hanya 14,94 %.



Gambar 3. Perbandingan c-organik, bobot isi dan kadar air pada perlakuan tanpa dan dengan olah tanah

Figure 3. Comparison of C-organic, bulk density, and water content tillage and no tillage

Hasil analisis uji korelasi menunjukkan bahwa kadar bahan organik, bobot isi dan kadar air berkorelasi nyata pada level 95 % terhadap emisi  $CO_2$ , baik pada perlakuan tanpa olah tanah maupun olah tanah. Tabel nilai *Pearson* korelasi

dapat dilihat pada Tabel 4.1. Berdasarkan Tabel 1, tingkat korelasi dari tinggi ke rendah dalam mempengaruhi emisi  $CO_2$  pada kedua perlakuan adalah kadar bahan organik, kadar air dan bobot isi.

Tabel 1. Nilai korelasi kadar bahan organik, kadar air tanah dan bobot isi dalam mempengaruhi emisi  $CO_2$  pada perlakuan tanpa dan dengan olah tanah.

Table 1. Correlation value of organic matter content, soil water content and bulk density in influencing  $CO_2$  emissions in tillage and no tillage

Variabel Variable	Emisi $CO_2$ pada tanpa olah tanah <i>CO<sub>2</sub> emission in tillage</i>		Emisi $CO_2$ pada olah tanah <i>CO<sub>2</sub> emission in no tillage</i>	
	<i>Pearson corr</i>	<i>P-Value</i>	<i>Pearson corr</i>	<i>P-Value</i>
	Kadar bahan organik <i>Organic content</i>	0,69*	$4,17 \times 10^{-5}$	0,58*
Bobot Isi <i>Bulk density</i>	-0,25*	0,013	-0,34*	$6,35 \times 10^{-4}$
Kadar Air <i>Water content</i>	0,59*	$1,88 \times 10^{-10}$	0,37*	$1,48 \times 10^{-4}$

Keterangan :

\*Korelasi signifikan pada level 95 %.



Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa emisi CO<sub>2</sub> berkorelasi erat terhadap kadar C-organik. Sebagian besar faktor yang mempengaruhi emisi CO<sub>2</sub> yang lebih tinggi pada perlakuan tanpa olah tanah adalah kadar bahan organik yang lebih tinggi juga dibandingkan dengan perlakuan olah tanah. Hasil yang sama juga ditunjukkan oleh Verdi *et al.*, (2018) bahwa emisi CO<sub>2</sub> tinggi dihasilkan dari tanah yang mempunyai kadar bahan organik yang tinggi juga. CO<sub>2</sub> yang keluar yang dari tanah melalui dekomposisi bahan organik akan menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> (Hossain *et al.*, 2017). Diduga pada awal persiapan lahan, pengolahan lahan menyebabkan terjadinya dekomposisi bahan organik yang lebih cepat sehingga kandungan C-organik tanah dengan perlakuan olah tanah lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan tanpa olah tanah saat penelitian ini dilakukan. Saat pengukuran emisi CO<sub>2</sub> dilaksanakan, kandungan C organik yang lebih tinggi pada perlakuan tanpa olah menyebabkan mikroba lebih aktif mendekomposisikan bahan organik yang tersedia sehingga emisi CO<sub>2</sub> lebih tinggi. Data C organik setelah tanaman karet berumur 12 tahun menunjukkan bahwa pada perlakuan tanpa olah tanah memiliki kandungan C organik yang lebih tinggi sekitar 0,3% dibandingkan dengan perlakuan olah tanah. Hal ini menunjukkan bahwa secara akumulasi emisi CO<sub>2</sub> pada perlakuan olah tanah lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan tanpa olah tanah. Namun hasil pengukuran jangka pendek pada tahun ke 12 menunjukkan laju emisi CO<sub>2</sub> lebih besar pada plot tanpa olah tanah.

Kadar air tanah juga berkorelasi dengan emisi CO<sub>2</sub>, kadar air yang lebih tinggi pada perlakuan tanpa pengolahan tanah akan menyebabkan tanah menjadi lebih lembab dan yang menyebabkan dekomposisi bahan organik tanah akan lebih cepat. Kondisi ini menyebabkan emisi CO<sub>2</sub> menjadi meningkat. Hal ini sesuai dengan analisis statistik yang menunjukkan bahwa kadar air sampai level tertentu berkorelasi erat dengan emisi CO<sub>2</sub>. Kandungan air tanah yang sangat tinggi sebaliknya akan menurunkan respirasi dan

meningkatkan denitrifikasi, dan kondisi ini tergantung dari musim (Poblador *et al.*, 2017). Bobot isi menggambarkan kepadatan tanah akibat dari sistem pengolahan tanah. Hubungan antara bobot isi dan emisi CO<sub>2</sub> menunjukkan korelasi yang negatif, yang artinya bahwa peningkatan bobot isi akan meningkatkan juga emisi CO<sub>2</sub>. Sistem tanpa olah tanah adalah mengurangi bahkan menghindari pembalikan tanah yang menyebabkan kepadatan tanah meningkat karena pori-pori tanah semakin berkurang. Peningkatan kepadatan tersebut akan menurunkan jalur-jalur difusi gas yang ada di perlakuan tanpa olah tanah sehingga ketersediaan oksigen semakin terbatas. Kondisi ini menyebabkan aktivitas mikroba dalam mendegradasi bahan organik menurun (Steponavičienė *et al.*, 2022).

## KESIMPULAN

Pengukuran emisi CO<sub>2</sub> menunjukkan bahwa pada perlakuan tanpa olah tanah pada perkebunan karet berumur 12 tahun berbeda nyata lebih tinggi dibandingkan dengan olah tanah. Hasil uji korelasi menunjukkan bahwa bahan organik dan kadar air berkorelasi positif signifikan dalam mempengaruhi emisi CO<sub>2</sub>, sementara bobot isi berkorelasi negatif signifikan dalam mempengaruhi emisi CO<sub>2</sub>. Penelitian ini dilakukan pada bulan Juni-Juli 2023 dan merupakan pengukuran emisi sesaat. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa data C-organik pada perlakuan olah tanah lebih rendah dibandingkan dengan olah tanah dimana kemungkinan bahan organik pada pengolahan tanah sudah terdegradasi setelah persiapan lahan. Berdasarkan hasil korelasi, C-organik berkorelasi signifikan dalam mempengaruhi emisi CO<sub>2</sub> sehingga hal ini mengindikasikan bahwa secara total akumulasi sampai 12 tahun, perlakuan olah tanah mengemisikan CO<sub>2</sub> lebih besar dibandingkan tanpa olah tanah. Oleh karena itu, penelitian komprehensif dari awal persiapan lahan akan memberikan gambaran yang lebih lengkap dari kandungan C-organik dan emisi CO<sub>2</sub>.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alskaf, K., Mooney, S. J., Sparkes, D. L., Wilson, P., & Sjögersten, S. (2021). Short-term impacts of different tillage practices and plant residue retention on soil physical properties and greenhouse gas emissions. *Soil and Tillage Research*, 206, 104803. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104803>
- Artemyeva, Z., & Kogut, B. (2016). The Effect of Tillage on Organic Carbon Stabilization in Microaggregates in Different Climatic Zones of European Russia. *Agriculture*, 6(4), 63. <https://doi.org/10.3390/agriculture6040063>
- Balesdent, J., Chenu, C., & Balabane, M. (2000). Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and Tillage Research*, 53(3-4), 215-230. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(99\)00107-5](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00107-5)
- Cooper, H. V., Sjögersten, S., Lark, R. M., Girkin, N. T., Vane, C. H., Calonego, J. C., Rosolem, C., & Mooney, S. J. (2021). Long-term zero-tillage enhances the protection of soil carbon in tropical agriculture. *European Journal of Soil Science*, 72(6), 2477-2492. <https://doi.org/10.1111/ejss.13111>
- Felde, V. J. M. N. L., Schweizer, S. A., Biesgen, D., Ulbrich, A., Uteau, D., Knief, C., Graf-Rosenfellner, M., Kögel-Knabner, I., & Peth, S. (2021). Wet sieving versus dry crushing: Soil microaggregates reveal different physical structure, bacterial diversity and organic matter composition in a clay gradient. *European Journal of Soil Science*, 72(2), 810-828. <https://doi.org/10.1111/ejss.13014>
- Haddaway, N. R., Hedlund, K., Jackson, L. E., Kätterer, T., Lugato, E., Thomsen, I. K., Jørgensen, H. B., & Isberg, P.-E. (2017). How does tillage intensity affect soil organic carbon? A systematic review. *Environmental Evidence*, 6(1), 30. <https://doi.org/10.1186/s13750-017-0108-9>
- Hossain, Md. B., Rahman, Md. M., Biswas, J. C., Miah, Md. M. U., Akhter, S., Maniruzzaman, Md., Choudhury, A. K., Ahmed, F., Shiragi, Md. H. K., & Kalra, N. (2017). Carbon mineralization and carbon dioxide emission from organic matter added soil under different temperature regimes. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 6(4), 311-319. <https://doi.org/10.1007/s40093-017-0179-1>
- Igwe, C. A., & Obalum, S. E. (2013). Microaggregate Stability of Tropical Soils and its Roles on Soil Erosion Hazard Prediction. In S. Grundas (Ed.), *Advances in Agrophysical Research*. InTech. <https://doi.org/10.5772/52473>
- Jensen, J. L., Schjøning, P., Watts, C. W., Christensen, B. T., Obour, P. B., & Munkholm, L. J. (2020). Soil degradation and recovery – Changes in organic matter fractions and structural stability. *Geoderma*, 364, 114181. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114181>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2021). *Indonesia Long-Term Strategy for Low Carbon and Climate Resilience 2050 (Indonesia LTS-LCCR 2050)* (p. 156).
- Kusdiana, A. P. J., Alamsyah, A., & Hanifarianty, S. (2012). Estimasi fiksasi co<sub>2</sub> oleh klon karet RRIM 600 dan GT 1. *Konferensi Nasional Karet*, 228-234.

- Linsler, D., Geisseler, D., Loges, R., Taube, F., & Ludwig, B. (2013). Temporal dynamics of soil organic matter composition and aggregate distribution in permanent grassland after a single tillage event in a temperate climate. *Soil and Tillage Research*, 126, 90–99. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.07.017>
- Nugroho, P. A. (2019). Soil Tillage in Land Clearing for Rubber Plantation. *Perspektif*, 17(2), 129. <https://doi.org/10.21082/psp.v17n2.2018.129-138>
- Poblador, S., Lupon, A., Sabaté, S., & Sabater, F. (2017). Soil water content drives spatiotemporal patterns of CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from a Mediterranean riparian forest soil. *Biogeosciences*, 14(18), 4195–4208. <https://doi.org/10.5194/bg-14-4195-2017>
- Robertson, G. P. (2014). Soil Greenhouse Gas Emissions and Their Mitigation. In *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems* (pp. 185–196). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00097-8>
- Steponavičienė, V., Bogužas, V., Sinkevičienė, A., Skinulienė, L., Vaisvalavičius, R., & Sinkevičius, A. (2022). Soil Water Capacity, Pore Size Distribution, and CO<sub>2</sub> Emission in Different Soil Tillage Systems and Straw Retention. *Plants*, 11(5), 614. <https://doi.org/10.3390/plants11050614>
- Stevanus, C. T., & Sahuri, P. O. (2014). Potensi Peningkatan Penyerapan Karbon di Perkebunan Karet Sembawa, Sumatera Selatan. *Widyariset*, 17(3), 363–372.
- Szostek, M., Szpunar-Krok, E., Pawlak, R., Stanek-Tarkowska, J., & Ilek, A. (2022). Effect of Different Tillage Systems on Soil Organic Carbon and Enzymatic Activity. *Agronomy*, 12(1), 208. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010208>
- Tubiello, F. N., Salvatore, M., Rossi, S., Ferrara, A., Fitton, N., & Smith, P. (2013). The FAOSTAT database of greenhouse gas emissions from agriculture. *Environmental Research Letters*, 8(1), 015009. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/015009>
- Verdi, L., Mancini, M., Ljubojevic, M., Orlandini, S., & Dalla Marta, A. (2018). Greenhouse gas and ammonia emissions from soil: The effect of organic matter and fertilisation method. *Italian Journal of Agronomy*, 13(3), 260–266. <https://doi.org/10.4081/ija.2018.1124>
- Xavier, C. V., Moitinho, M. R., De Bortoli Teixeira, D., André de Araújo Santos, G., de Andrade Barbosa, M., Bastos Pereira Milori, D. M., Rigobelo, E., Corá, J. E., & La Scala Júnior, N. (2019). Crop rotation and succession in a no-tillage system: Implications for CO<sub>2</sub> emission and soil attributes. *Journal of Environmental Management*, 245, 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.053>
- Zhou, W.-J., Ji, H., Zhu, J., Zhang, Y.-P., Sha, L.-Q., Liu, Y.-T., Zhang, X., Zhao, W., Dong, Y., Bai, X.-L., Lin, Y.-X., Zhang, J.-H., & Zheng, X.-H. (2016). The effects of nitrogen fertilization on N<sub>2</sub>O emissions from a rubber plantation. *Scientific Reports*, 6(1), 28230. <https://doi.org/10.1038/srep28230>
- Badan Pusat Statistik. (2022). Statistik Indonesia 2022. Badan Pusat Statistik