

**TESIS**

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



**CHARLOS TOGI STEVANUS**

**20012622226001**

**PROGRAM STUDI PENGELOLAAN LINGKUNGAN**

**PROGRAM PASCASARJANA**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2024**

# **TESIS**

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

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Magister  
Pada Program Pengelolaan Lingkungan, Pasca Sarjana Universitas Sriwijaya



**Oleh :**

**CHARLOS TOGI STEVANUS**

**NIM. 20012622226001**

**PROGRAM STUDI PENGELOLAAN LINGKUNGAN**

**PROGRAM PASCASARJANA**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2024**

## RINGKASAN

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

Karya tulis ilmiah berupa Tesis, 19 Juli 2024

Charlos Togi Stevanus; Dibimbing oleh Bakri dan Budhi Setiawan

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

xv + 64 halaman, 2 tabel, 25 gambar, 3 lampiran

### RINGKASAN

Jumlah CO<sub>2</sub> yang keluar ke atmosfer dari lahan pertanian sebagian besar dipengaruhi oleh banyaknya karbon organik di tanah. Ketika agregat tanah dihancurkan karena pengolahan tanah, maka akan mempercepat hilangnya bahan organik. Salah satu sektor pertanian yang dapat menyerap karbon adalah perkebunan karet. Pengolahan tanah di perkebunan karet terdiri dari 2 jenis, yaitu olah tanah konvensional menggunakan mekanis dan tanpa olah tanah.

Tujuan penelitian ini adalah membandingkan pengaruh sistem tanpa dan olah tanah terhadap emisi CO<sub>2</sub> pada tanaman karet berumur 12 tahun dan menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi emisi CO<sub>2</sub>. Selain itu, penelitian ini juga akan menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi emisi CO<sub>2</sub> pada sistem pengolahan tanah di perkebunan karet berumur 12 tahun.

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni sampai Juli 2023 di Kebun Pusat Penelitian Karet 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. Variabel yang diukur dalam mempengaruhi emisi CO<sub>2</sub> adalah kadar c-organik, bobot isi dan kadar air. Pengukuran konsentrasi CO<sub>2</sub> dilakukan dengan menggunakan CO<sub>2</sub> *gas analyzer* LI-850. Sementara itu, pengukuran kadar c-organik, kadar air, dan bobot isi dilakukan di Laboratorium Tanah dan Pemupukan Pusat Penelitian Karet dengan menggunakan contoh tanah utuh dan terganggu.

Hasil penelitian menunjukkan rerata emisi CO<sub>2</sub> tanpa olah tanah nyata lebih tinggi dibandingkan olah tanah pada perkebunan karet umur 12 tahun. C-organik, bobot isi dan kadar air berkorelasi signifikan dalam mempengaruhi emisi CO<sub>2</sub> pada perlakuan tanpa olah tanah dan olah tanah. Faktor c-organik dalam mempengaruhi emisi CO<sub>2</sub> berupa kurva eksponensial. Faktor kadar air dalam mempengaruhi emisi CO<sub>2</sub> pada tanpa olah tanah berupa kurva non linier, sementara pada perlakuan olah tanah berupa kurva sigmoid. Nilai R<sup>2</sup> pada kurva persamaan antara olah tanah dan kadar air dalam mempengaruhi emisi CO<sub>2</sub> tergolong rendah sehingga persamaan tersebut tidak efektif dalam menjelaskan emisi CO<sub>2</sub>. Sementara itu, nilai R<sup>2</sup> pada kurva persamaan antara tanpa olah tanah dan kadar air menunjukkan R<sup>2</sup> yang tinggi sehingga dalam persamaan tersebut kadar air kurang dari 20 % akan menghasilkan

emisi CO<sub>2</sub> dan saat kadar air melebihi 20 % maka emisi CO<sub>2</sub> akan menurun. Faktor bobot isi dalam mempengaruhi emisi CO<sub>2</sub> pada perlakuan tanpa olah tanah berupa kurva allometric sementara tanpa olah tanah berupa kurva linier. Nilai R<sup>2</sup> pada kedua kurva dengan variabel bobot isi tergolong rendah sehingga persamaan yang dihasilkan tidak efektif dalam menjelaskan emisi CO<sub>2</sub>.

Emisi CO<sub>2</sub> tanah yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah emisi CO<sub>2</sub> akumulasi sehingga tidak dapat membedakan emisi hasil dari respirasi mikroba dan tanaman. Saran dari penelitian adalah memisahkan emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari respirasi mikroba dan tanaman. Selain itu, 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. Hal ini mengindikasikan bahwa secara total akumulasi sampai tanaman karet berumur 12 tahun, perlakuan olah tanah menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> lebih besar dibandingkan tanpa olah tanah sehingga diperlukan penelitian komprehensif terkait hal tersebut.

**Kata Kunci** : Emisi CO<sub>2</sub>, tanpa olah tanah, olah tanah, perkebunan karet  
Kepustakaan : 96 (1990-2023)

## SUMMARY

### ANALYSIS OF TILLAGE SYSTEM ON SOIL CO<sub>2</sub> EMISSIONS IN THE 12-YEARS-OLD RUBBER TREES

Scientific Paper in the form of Thesis, 19 Juli 2024

Charlos Togi Stevanus; supervised by Bakri and Budhi Setiawan

Analisis Sistem Pengolahan Tanah Terhadap Emisi CO<sub>2</sub> Tanah Pada Tanaman Karet Umur 12 Tahun

xv + 64 pages, 2 table, 25 pictures, 3 attachment

### SUMMARY

The amount of CO<sub>2</sub> released into atmosphere from agricultural is largely influenced by amount of organic carbon in soil. When the soil aggregate is destroyed due to tillage, it will accelerate the loss of organic matter. One of agricultural sector that can sequestration carbon is rubber plantation. Land cultivation in rubber plantation consists of 2 types, namely conventional tillage using mechanical and no tillage.

The aim of this research is to compare the effect of no tillage and tillage system on Soil CO<sub>2</sub> emissions in 12-year-old-rubber plants. Apart from that, this research also analyzes the factor that influence CO<sub>2</sub> emission in soil processing system in 12-year-old rubber plantation.

The research was carried out from June to July 2023 at Indonesian Rubber Research Institute and rubber plants were planted in 2011. The method used in the research used a quantitative experimental method by comparing 2 treatments, namely tillage and no tillage. The variables measured in influencing CO<sub>2</sub> emissions are organic matter content, bulk density, and water content. CO<sub>2</sub> concentration measurement was carried out using CO<sub>2</sub> gas analyzer LI-850. Meanwhile, measurement of organic matter content, water content, and bulk density were carried out at the Soil and Fertilization Laboratory of Indonesian Rubber Research Institute using intact and disturbed soil samples.

The research results showed that the average CO<sub>2</sub> emissions without tillage were significantly higher than tillage on 12-year-old rubber plantations. Organic matter, bulk density and water content are significantly correlated in influencing CO<sub>2</sub> emission in no tillage and tillage. The organic matter factor in influencing CO<sub>2</sub> emissions is form of exponential curve. The water content factor in influencing CO<sub>2</sub> emissions in no tillage is non-linear curve, while in the tillage is sigmoid curve. The R<sup>2</sup> value in the equation curve between tillage and water content in influencing CO<sub>2</sub> emissions is relatively low so that the equation is not effective in explaining CO<sub>2</sub> emissions. Meanwhile, the R<sup>2</sup> value in the equation curve between no tillage and water content shows high so that in this equation a water content of less than 20 % will produce CO<sub>2</sub> emissions and when the water content exceeds 20 %, CO<sub>2</sub> emissions will decrease. The bulk density factor in influencing CO<sub>2</sub> emissions in

no tillage is in form allometric curve while no tillage is in form of linier curve. The  $R^2$  value on the two curves with the bulk density variable is relatively low so that the resulting equation is not effective in explaining CO<sub>2</sub> emissions.

CO<sub>2</sub> emission from soil produced in this study are accumulated CO<sub>2</sub> emissions so that emissions cannot distinguished from microbial and plant respiration. The suggestion from the research is to separate CO<sub>2</sub> emissions resulting from microbial and plant respiration. In addition, this research shows that c-organic data in tillage is lower compared to tillage where it is possible that the organic matter in tillage has been degraded after land preparation. This indicates that in total accumulation until rubber plant is 12 years old, tillage produces greater CO<sub>2</sub> emissions than without tillage, so comprehensive research is needed regarding this matter.

**Keyword** : CO<sub>2</sub> emission, No. tillage, tillage, rubber plantation  
**Citations** : 96 (1990-2023)

## PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Charlos Togi Stevanus  
NIM : 20012622226001  
Judul : Analisis Sistem Pengolahan Tanah Terhadap Emisi CO<sub>2</sub> Dari Tanah Pada Tanaman Karet Umur 12 Tahun

Menyatakan bahwa Tesis saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/*plagiat*. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/*plagiat* dalam Tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, 19 Juli 2024

Yang membuat pernyataan



Charlos Togi Stevanus

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

**TESIS**


Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Magister  
Pada Program Pengelolaan Lingkungan, Pasca Sarjana Universitas Sriwijaya

Oleh


**CHARLOS TOGI STEVANUS**  
**NIM. 20012622226001**

Palembang, 19 Juli 2024

**Pembimbing I**


  
**Dr. Ir. Bakri, M.P**  
**NIP 196606251993031001**

**Pembimbing II**

  
**Budhi Setiawan, S.T., M.T., Ph.D.**  
**NIP. 197211121999031002**

Mengetahui,  
**Direktur Program Pasca Sarjana**  
**Universitas Sriwijaya**



  
**Prof. Dr. Ir. Muhammad Said, M.Sc**  
**NIP : 196108121987031003**



## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Tesis ini dengan judul “Analisis Sistem Pengolahan Tanah Terhadap Emisi CO<sub>2</sub> Dari Tanah Pada Tanaman Karet Umur 12 Tahun” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Pengelolaan Lingkungan, Pasca Sarjana Universitas Sriwijaya pada Tanggal 19 Juli 2024

Palembang, 19 Juli 2024

Tim Penguji Karya tulis ilmiah berupa Tesis

Ketua :

1. Dr. Ir. Bakri, M.P  
NIP. 196606251993031001

( *Bakri* )

Anggota :

2. Budhi Setiawan, S.T., M.T., Ph.D  
NIP. 197211121999031002
3. Dr. Ir. Muh. Bambang Prayitno, M.Agr,Sc.  
NIP. 196109201990011001
4. Dr. Drs. Sarno, M.Si  
NIP. 196507151992031004

( *Budi* )


( *Muh. Bambang* )

( *Sarno* )

Mengetahui,

Direktur Program Pasca Sarjana  
Universitas Sriwijaya

Koordinator Program Studi  
Magister Pengelolaan Lingkungan

  
Prof. Dr. Ir. Muhammad Sard, M.Sc  
NIP : 196108121987031003



Prof. Novia, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 1973110520000032003

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis lahir di Jakarta pada tanggal 10 Juni 1987 dari pasangan Bapak Mangasa Sirait dan Ibu Kusniati Sitorus sebagai anak ketiga dari empat bersaudara. Penulis menempuh pendidikan S1 di Departemen Ilmu Tanah dan Sumber daya Lahan, Institut Pertanian Bogor pada tahun 2005. Pada tahun 2012 sampai saat ini, penulis merupakan peneliti di Pusat Penelitian Karet, PT. Riset Perkebunan Nusantara. Peneliti pernah meraih penghargaan sebagai terbaik 1 kategori Peneliti Inovatif Sumatera Selatan dalam rangka Hari Kebangkitan Teknologi Nasional (HARTEKNAS) tahun 2020.

Akhir kata, penulis mengucapkan rasa syukur kepada Tuhan Yesus atas penyelesaian tesis yang berjudul “Analisis Sistem Pengolahan Tanah Terhadap Emisi CO<sub>2</sub> Tanah Pada Tanaman Karet Umur 12 Tahun”. Semoga tesis ini bisa memberikan kontribusi positif pada penelitian, pemerintah dan usaha perkebunan di Indonesia.

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kepada Indonesia Tuhan Yesus Kristus yang telah memberikan kasih-Nya kepada Penulis sehingga diberikan kemudahan dan kelancaran dalam menyelesaikan tesis yang berjudul “Analisis Sistem Pengolahan Tanah Terhadap Emisi CO<sub>2</sub> Dari Tanah Pada Tanaman Karet Umur 12 Tahun”.

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada semua pihak yang telah banyak membantu selama proses penyusunan tesis ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua saya Mangasa Sirait dan Ibu Kusniati Sitorus serta Saudara kandung Louwysa Pristiati, Ester Riningsih, dan Friska Fetriani yang selalu mendukung serta mendoakan penulis sampai saat ini.
2. Bapak Dr. Ir. Bakri, M.P dan Bapak Budhi Setiawan, S.T., M.T., Ph.D. yang telah memberikan arahan, masukan dan dukungan kepada penulis selama penyusunan proposal dan tesis
3. Bapak Dr. Drs Sarno, M.Si dan Dr. Ir. Muh. Bambang Prayitno, M.Agr.Sc sebagai penguji tesis yang telah memberikan masukan dan dukungan dalam penyusunan tesis ini
4. Kepala Pusat Penelitian Karet yang telah memberikan izin belajar dan fasilitas selama penulis menyelesaikan Program Pengelolaan Lingkungan.
5. Senior peneliti tanah dan pemupukan, Bapak Risal Ardika dan teknisi Aprian Bisma dan Ari yang mendukung dan membantu dalam penyelesaian tesis ini.
6. Rekan-rekan kerja, sahabat dan kerabat yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang selalu mendukung dalam penyelesaian tesis ini.

Penulis menyadari bahwa tesis ini terdapat banyak kekurangan sehingga mengharapkan saran dan kritik yang membangun untuk menyempurnakan tesis ini dari berbagai pihak. Semoga tesis ini bisa bermanfaat untuk membangun Indonesia kedepannya.

# DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
Ringkasan.....	i
Summary .....	iii
Pernyataan Integritas .....	v
Halaman Pengesahan .....	vi
Halaman Persetujuan.....	vii
Riwayat Hidup .....	viii
Kata Pengantar .....	ix
Daftar Isi.....	x
Daftar Gambar.....	xii
Daftar Tabel .....	xiv
Daftar Lampiran .....	xv
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Hipotesis Penelitian .....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1. Sistem Pengolahan Tanah Pada Perkebunan Karet.....	5
2.2. Emisi CO <sub>2</sub> Pada Pengolahan Tanah.....	5
2.3. Pengukuran Emisi CO <sub>2</sub> Pada Tanah .....	5
<b>BAB 3. METODOLOGI.....</b>	<b>5</b>
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian .....	5
3.2. Alat dan Bahan .....	5
3.3. Metode Penelitian.....	5
3.4. Pelaksanaan Penelitian .....	5
3.5. Penyajian Data.....	5
3.6. Pengumpulan Data.....	5
3.7. Analisis Data .....	5
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>5</b>

## HALAMAN

4.1. Kondisi Umum Daerah Penelitian.....	5
4.2. Pola Emisi CO <sub>2</sub> Perlakuan Tanpa dan Dengan Olah Tanah.....	5
4.3. Kadar Bahan Organik, Bobot Isi, Kadar Air Pada Perlakuan Tanpa Olah Tanah dan Olah Tanah.....	5
4.4. Korelasi Kadar Bahan Organik, Kadar Air Tanah dan Bobot Isi Dalam Mempengaruhi Emisi CO <sub>2</sub> Pada Perlakuan Tanpa dan Dengan Olah tanah.....	5
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN .....	5
5.1. Kesimpulan .....	5
5.2. Saran.....	5
DAFTAR PUSTAKA .....	5
LAMPIRAN.....	16

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 1.1. Bagan alir permasalahan penelitian.....	3
Gambar 2.1. Kegiatan pengeluaran akar dengan menggunakan traktor .....	5
Gambar 2.2. Tunggul dan sisa akar tanaman yang terangkat di kumpulkan dengan menggunakan dozer .....	5
Gambar 2.3. Bajak menggunakan traktor di perkebunan karet.....	5
Gambar 2.4. Siklus karbon pada ekosistem darat .....	5
Gambar 3.1. Lokasi Penelitian di Kebun Penelitian dan Produksi, Pusat Penelitian Karet.....	5
Gambar 3. 2. Kondisi tanaman karet perlakuan tanpa olah tanah (A) dan olah tanah (B) .....	5
Gambar 3.3. Sisa tanaman karet ditumpuk menjadi satu (A) dan dilakukan bajak dan garu (B) pada perlakuan sistem olah tanah.....	5
Gambar 3. 4. Perlakuan tanpa olah tanah.....	5
Gambar 3.5. Pengukuran konsentrasi CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O dengan menggunakan CO <sub>2</sub> gas analyzer LI-850.....	5
Gambar 3.6. Layout peta titik pengukuran emisi CO <sub>2</sub> .....	5
Gambar 3.7. Emisi CO <sub>2</sub> pra-penelitian pada perlakuan tanpa olah tanah dan olah tanah yang dilakukan pagi, siang, dan malam .....	5
Gambar 3.8. Diagram alir penelitian.....	5
Gambar 4.1. Profil tanah daerah penelitian pada perlakuan tanpa olah tanah (A) dan perlakuan olah tanah (B).....	5
Gambar 4.2. Pola emisi CO <sub>2</sub> perlakuan tanpa dan dengan olah tanah di Perkebunan karet umur 12 tahun selama pengamatan.....	5

Gambar 4.3.	Rerata emisi CO <sub>2</sub> dari perlakuan dengan dan tanpa olah tanah di Perkebunan Karet umur 12 tahun .....	5
Gambar 4.4.	Perbandingan kadar bahan organik pada perlakuan tanpa dan dengan olah tanah .....	5
Gambar 4. 5.	Perbandingan bobot isi pada perlakuan tanpa dan dengan olah tanah.....	5
Gambar 4.6.	Perbandingan kadar air pada perlakuan tanpa dan dengan olah tanah.....	5
Gambar 4.7.	Grafik eksponensial hubungan antara bahan organik dan emisi CO <sub>2</sub> pada perlakuan tanpa olah tanah (R <sup>2</sup> = 0,57).....	5
Gambar 4.8.	Grafik eksponensial hubungan antara bahan organik dan emisi CO <sub>2</sub> pada perlakuan olah tanah (R <sup>2</sup> = 0,65).....	5
Gambar 4.9.	Grafik allometric hubungan antara bobot isi dan emisi CO <sub>2</sub> pada perlakuan tanpa olah tanah (R <sup>2</sup> = 0,06) .....	5
Gambar 4.10.	Grafik linier hubungan antara bobot isi dan emisi CO <sub>2</sub> pada perlakuan olah tanah (R <sup>2</sup> = 0,11).....	5
Gambar 4. 11.	Grafik non linier hubungan antara kadar air dan emisi CO <sub>2</sub> pada perlakuan tanpa olah tanah (R <sup>2</sup> = 0,51) .....	5
Gambar 4. 12.	Grafik sigmoid hubungan antara kadar air dan emisi CO <sub>2</sub> pada perlakuan olah tanah (R <sup>2</sup> = 0,16).....	5

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
Tabel 2.1. Pengaruh pengolahan tanah terhadap pertumbuhan karet belum menghasilkan.....	5
Tabel 4. 1. Nilai korelasi kadar bahan organik, kadar air tanah dan bobot isi dalam mempengaruhi emisi CO <sub>2</sub> pada perlakuan tanpa olah tanah dan olah tanah. ....	5



## DAFTAR LAMPIRAN

	<b>Halaman</b>
Lampiran 1. Emisi CO <sub>2</sub> pada perlakuan pengolahan tanah setiap minggunya. ....	16
Lampiran 2. Emisi CO <sub>2</sub> pada perlakuan tanpa olah tanah setiap minggunya. ....	16
Lampiran 3. Perhitungan uji-t pada emisi CO <sub>2</sub> pada perlakuan tanpa dan olah tanah. ....	16

# BAB 1. PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

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 emisi karbon ke 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 penyiapan 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 pemerintah dalam menurunkan emisi gas rumah kaca nasional.

## **1.2. Perumusan Masalah**

Tingkat emisi gas rumah kaca (GRK) nasional tahun 2019 adalah 1.866.552 Gg CO<sub>2</sub>e, atau meningkat sekitar 60 % dibandingkan tahun 2000, dan sekitar 6 % dari total GRK nasional berasal dari sektor pertanian (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2020). Untuk menurunkan emisi GRK, khususnya di sektor pertanian maka perlu upaya untuk menguranginya. Perkebunan karet merupakan salah satu sektor dibidang pertanian yang dapat menyerap karbon dari atmosfer.

Pengurangan emisi dari perkebunan karet dapat dilakukan melalui sistem tanpa olah tanah. Masalah yang dihadapi dalam penelitian ini antara lain : 1) berapa emisi CO<sub>2</sub> antara olah tanah dibandingkan dengan tanpa olah tanah dan 2) faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi emisi CO<sub>2</sub> pada sistem pengolahan tanah di perkebunan karet. Gambar bagan alir permasalahan ditunjukkan pada Gambar 1.1.

## **1.3. Hipotesis Penelitian**

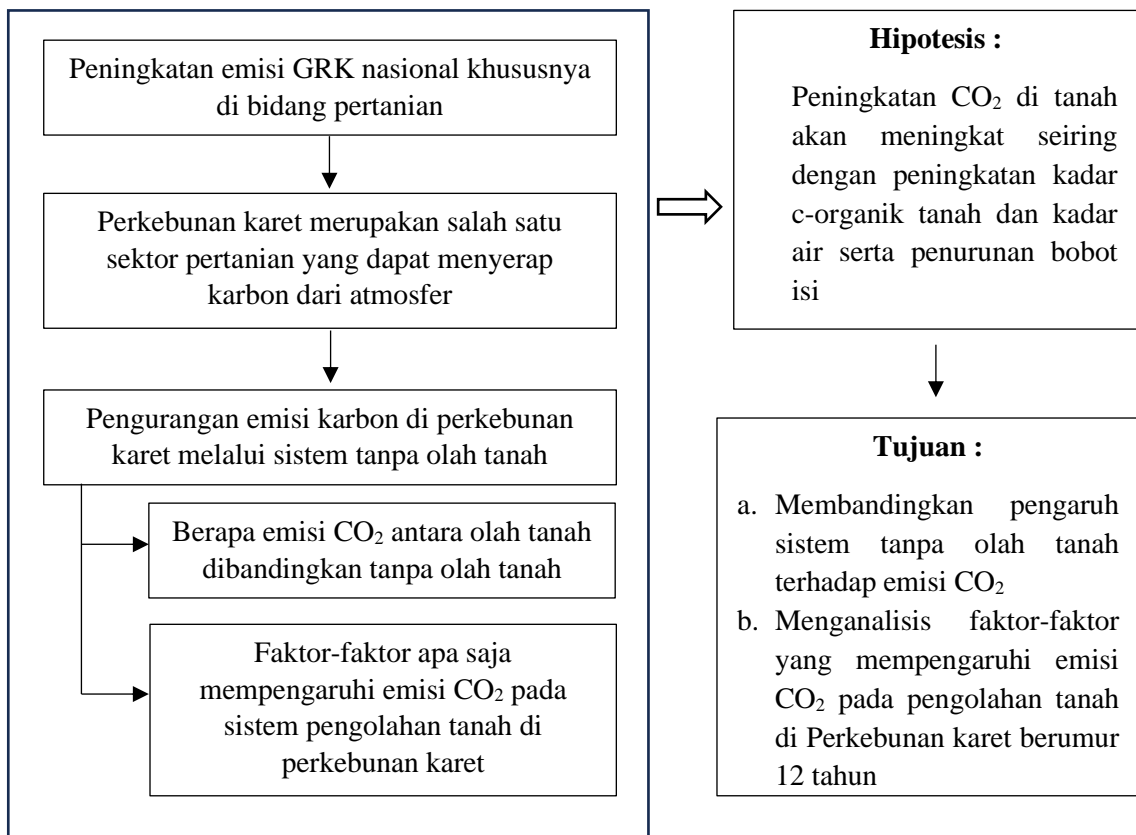
Hipotesis pada penelitian ini yaitu :

- a. Emisi CO<sub>2</sub> pada sistem tanpa olah tanah akan lebih kecil dibandingkan dengan sistem olah lahan
- b. Peningkatan CO<sub>2</sub> di tanah akan meningkat seiring dengan peningkatan kadar c-organik tanah dan kadar air tanah serta penurunan bobot isi.

#### 1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini yaitu :

- a. Membandingkan pengaruh sistem tanpa dan olah tanah terhadap emisi CO<sub>2</sub> pada tanaman karet berumur 12 tahun
- b. Menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi emisi CO<sub>2</sub> pada pengolahan tanah di tanaman karet berumur 12 tahun



Gambar 1. 1. Bagan alir permasalahan penelitian

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini adalah :

- a. Membantu pemerintah dalam membuat kebijakan mengenai upaya pengurangan emisi di Indonesia.
- b. Menambah pustaka jumlah emisi CO<sub>2</sub> di bidang pertanian, khususnya perkebunan karet di Indonesia
- c. Membantu perkebunan karet di Indonesia dalam membuat kebijakan sistem pengolahan tanah yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdalla, K., Chivenge, P., Ciais, P., & Chaplot, V. (2016). No-tillage lessens soil CO<sub>2</sub> emissions the most under arid and sandy soil conditions: Results from a meta-analysis. *Biogeosciences*, *13*(12), 3619–3633. <https://doi.org/10.5194/bg-13-3619-2016>
- Abdalla, M., Osborne, B., Lanigan, G., Forristal, D., Williams, M., Smith, P., & Jones, M. B. (2013). Conservation tillage systems: A review of its consequences for greenhouse gas emissions. *Soil Use and Management*, *29*(2), 199–209. <https://doi.org/10.1111/sum.12030>
- Agee, E., He, L., Bisht, G., Couvreur, V., Shahbaz, P., Meunier, F., Gough, C. M., Matheny, A. M., Bohrer, G., & Ivanov, V. (2021). Root lateral interactions drive water uptake patterns under water limitation. *Advances in Water Resources*, *151*, 103896. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2021.103896>
- Ajami, M., Heidari, A., Khormali, F., Gorji, M., & Ayoubi, S. (2016). Environmental factors controlling soil organic carbon storage in loess soils of a subhumid region, northern Iran. *Geoderma*, *281*, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.06.017>
- Alam, Md. K., Islam, Md. M., Salahin, N., & Hasanuzzaman, M. (2014). Effect of Tillage Practices on Soil Properties and Crop Productivity in Wheat-Mungbean-Rice Cropping System under Subtropical Climatic Conditions. *The Scientific World Journal*, *2014*, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2014/437283>
- Aldoshin, N., Mamatov, F., Ismailov, I., & Ergashov, G. (2020, May 20). *Development of combined tillage tool for melon cultivation*. 19th International Scientific Conference Engineering for Rural Development. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2020.19.TF175>
- Andruschkewitsch, R., Koch, H.-J., & Ludwig, B. (2014). Effect of long-term tillage treatments on the temporal dynamics of water-stable aggregates and

- on macro-aggregate turnover at three German sites. *Geoderma*, 217–218, 57–64. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.10.022>
- Ardika, R., Cahyo, A. N., & Wijaya, T. (2011). Dinamika gugur daun dan produksi berbagai klon karet kaitannya dengan kandungan air tanah. *Jurnal Penelitian Karet*, 29(2), 102–109.
- 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>
- Baldocchi, D. D., & Meyers, T. P. (1991). Trace gas exchange above the floor of a deciduous forest: 1. Evaporation and CO<sub>2</sub> efflux. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 96(D4), 7271–7285. <https://doi.org/10.1029/91JD00269>
- 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)
- Blanco-Canqui, H., & Ruis, S. J. (2018). No-tillage and soil physical environment. *Geoderma*, 326, 164–200. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.011>
- Buragienė, S., Šarauskis, E., Romaneckas, K., Adamavičienė, A., Kriauciūnienė, Z., Avižienytė, D., Marozas, V., & Naujokienė, V. (2019). Relationship between CO<sub>2</sub> emissions and soil properties of differently tilled soils. *Science of The Total Environment*, 662, 786–795. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.236>
- Carter, M. R., & McKyes, E. (2005). CULTIVATION AND TILLAGE. In *Encyclopedia of Soils in the Environment* (pp. 356–361). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B0-12-348530-4/00514-2>
- Cates, A. M., & Ruark, M. D. (2017). Soil aggregate and particulate C and N under corn rotations: Responses to management and correlations with yield. *Plant and Soil*, 415(1–2), 521–533. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-3121-9>
- Cerdà, A., Rodrigo-Comino, J., Yakupoğlu, T., Dindaroğlu, T., Terol, E., Mora-Navarro, G., Arabameri, A., Radziemska, M., Novara, A., Kaviani, A., Vaverková, M. D., Abd-Elmabod, S. K., Hammad, H. M., & Daliakopoulos, I. N. (2020). Tillage Versus No-Tillage. Soil Properties and Hydrology in

- an Organic Persimmon Farm in Eastern Iberian Peninsula. *Water*, 12(6), 1539. <https://doi.org/10.3390/w12061539>
- Chaplot, V., Abdalla, K., Alexis, M., Bourennane, H., Darboux, F., Dlamini, P., Everson, C., Mchunu, C., Muller-Nedebock, D., Mutema, M., Quenea, K., Thenga, H., & Chivenge, P. (2015). Surface organic carbon enrichment to explain greater CO<sub>2</sub> emissions from short-term no-tilled soils. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 203, 110–118. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.02.001>
- Chen, Z., Khan, A., Shi, X., Hao, X., Tan, D. K. Y., & Luo, H. (2020). Water-nutrient management enhances root morpho-physiological functioning, phosphorus absorption, transportation and utilization of cotton in arid region. *Industrial Crops and Products*, 143, 111975. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111975>
- 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>
- Dede, A. P. O., Akpaja, E. O., & Galillee, J. E. (2011). *Effect of pH on the growth of the white root rot pathogen, Rigidoporus lignosus (Klotzsch) Imazeki, on selected para rubber sustaining soils in Nigeria*. 12(3).
- Edwin, L., & Ashraf, P. M. (2006). Assessment of biodeterioration of rubber wood exposed to field conditions. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 57(1), 31–36. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2005.10.006>
- Eviati, & Sulaeman. (2009). *Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk* (2nd ed.). Balai Penelitian Tanah.
- Fairuzah, Z., Dalimunthe, C. I., & Suryaman, S. (2014). Keefektifan beberapa fungi antagonis (*Trichoderma* sp) dalam biofungisida endohevea terhadap penyakit jamur akar putih (*rigidoporus microporus*) di lapangan. *Jurnal Penelitian Karet*, 32(2), 122–128.
- Fang, C., & Moncrieff, J. B. (1999). A model for soil CO<sub>2</sub> production and transport 1: Model development. *Agricultural and Forest Meteorology*.



- 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>
- Gréggio, T. C., Assis, L. C., & Nahas, E. (2008). Decomposition of the Rubber Tree *Hevea brasiliensis* Litter at Two Depths. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 68(2). <https://doi.org/10.4067/S0718-58392008000200002>
- Guan, D., Al-Kaisi, M. M., Zhang, Y., Duan, L., Tan, W., Zhang, M., & Li, Z. (2014). Tillage practices affect biomass and grain yield through regulating root growth, root-bleeding sap and nutrients uptake in summer maize. *Field Crops Research*, 157, 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.12.015>
- Gui, W., You, Y., Yang, F., & Zhang, M. (2023). Soil Bulk Density and Matric Potential Regulate Soil CO<sub>2</sub> Emissions by Altering Pore Characteristics and Water Content. *Land*, 12(9), 1646. <https://doi.org/10.3390/land12091646>
- 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>
- Håkansson, I., & Lipiec, J. (2000). A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. *Soil and Tillage Research*, 53(2), 71–85. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(99\)00095-1](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00095-1)
- Hillel, D. I., & Hatfield, J. L. (2005). *Encyclopedia of soils in the environment* (1st ed). Elsevier/Academic Press.
- 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>
- Janssens, I. A., Kowalski, A. S., Longdoz, B., & Ceulemans, R. (2000). Assessing forest soil CO<sub>2</sub> efflux: An in situ comparison of four techniques. *Tree Physiology*, 20(1), 23–32. <https://doi.org/10.1093/treephys/20.1.23>

- Jarvis, N., & Larsbo, M. (2023). Macropores and macropore flow. In M. J. Goss & M. Oliver (Eds.), *Encyclopedia of Soils in the Environment (Second Edition)* (Second Edition, pp. 306–313). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822974-3.00098-7>
- Jayasuriya, K., & Thennakoon, B. (2007). Biological control of *Rigidoporus microporus*, the cause of white root disease in rubber. *Ceylon J. Sci. Biol. Sci.*, 36.
- 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>
- Kaewchai, S., & Soyong, K. (2010). Application of biofungicides against *Rigidoporus microporus* causing white root disease of rubber trees. *Journal of Agriculture Technology*, 6(2), 349–363.
- Kanatas, P., Gazoulis, I., Travlos, I., Kakabouki, I., Kioussi, S., & Mpampanioti, E. (2020). The effects of tillage on weed suppressive ability, leaf area, seed yield and protein content of *Mucuna pruriens* var. *Utilis*. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48(2), 871–881. <https://doi.org/10.15835/nbha48211887>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2020). *Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV)*. Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim.
- Kurnia, U., Agus, F., Adimihardja, A., Rachman, A., Sutono, S., & Suganda, H. (2022). *Sifat fisik tanah dan metode analisisnya*. Kementerian Pertanian.
- Kusdiana, A. P. J., Alamsyah, A., & Hanifarianty, S. (2012). Estimasi fiksasi co2 oleh klon karet RRIM 600 dan GT 1. *Konferensi Nasional Karet*, 228–234.
- Kuzyakov, Y., Horwath, W. R., Dorodnikov, M., & Blagodatskaya, E. (2019). Review and synthesis of the effects of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> on soil processes: No changes in pools, but increased fluxes and accelerated cycles. *Soil Biology and Biochemistry*, 128, 66–78. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.10.005>

- Lal, R. (2015). Soil carbon sequestration and aggregation by cover cropping. *Journal of Soil and Water Conservation*, 70(6), 329–339. <https://doi.org/10.2489/jswc.70.6.329>
- Li, Y., Li, Z., Cui, S., & Zhang, Q. (2020). Trade-off between soil pH, bulk density and other soil physical properties under global no-tillage agriculture. *Geoderma*, 361, 114099. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114099>
- Li, Y., Song, D., Liang, S., Dang, P., Qin, X., Liao, Y., & Siddique, K. H. M. (2020). Effect of no-tillage on soil bacterial and fungal community diversity: A meta-analysis. *Soil and Tillage Research*, 204, 104721. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104721>
- 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>
- Liu, Z., Liu, P., An, F., Cheng, L., Yun, T., & Ma, X. (2020). Effects of cassava allelochemicals on rubber tree pathogens, soil microorganisms, and soil fertility in a rubber tree–cassava intercropping system. *Journal of Rubber Research*, 23(4), 257–271. <https://doi.org/10.1007/s42464-020-00055-7>
- Ma, Y., Cheng, X., Kang, F., & Han, H. (2022). Dynamic characteristics of soil aggregate stability and related carbon and nitrogen pools at different developmental stages of plantations in northern China. *Journal of Environmental Management*, 316, 115283. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115283>
- Madsen, R., Xu, L., Claassen, B., & McDermitt, D. (2009). Surface Monitoring Method for Carbon Capture and Storage Projects. *Energy Procedia*, 1(1), 2161–2168. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2009.01.281>
- Murphy, B. W. (2015). Impact of soil organic matter on soil properties—A review with emphasis on Australian soils. *Soil Research*, 53(6), 605. <https://doi.org/10.1071/SR14246>
- Nascente, A. S., Li, Y., & Crusciol, C. A. C. (2015). Soil Aggregation, Organic Carbon Concentration, and Soil Bulk Density As Affected by Cover Crop

- Species in a No-Tillage System. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 39(3), 871–879. <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140388>
- Neira, J., Ortiz, M., Morales, L., & Acevedo, E. (2015). Oxygen diffusion in soils: Understanding the factors and processes needed for modeling. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 75, 35–44. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392015000300005>
- 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>
- Oertel, C., Matschullat, J., Zurba, K., Zimmermann, F., & Erasmi, S. (2016). Greenhouse gas emissions from soils—A review. *Geochemistry*, 76(3), 327–352. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2016.04.002>
- Ogieriakhi, M. O., & Woodward, R. T. (2022). Understanding why farmers adopt soil conservation tillage: A systematic review. *Soil Security*, 9, 100077. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2022.100077>
- Overseas Development administration. (1990). *The Land Resources of Indonesia National Overview*. PT Pembina Peraga.
- Parasayu, K. S., Wicaksono, K. S., & Munir, M. (2016). *Pengaruh sifat fisik tanah terhadap jamur akar putih pada tanaman karet*. 3(2), 359–364.
- Pires, L. F., Borges, J. A. R., Rosa, J. A., Cooper, M., Heck, R. J., Passoni, S., & Roque, W. L. (2017). Soil structure changes induced by tillage systems. *Soil and Tillage Research*, 165, 66–79. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.07.010>
- 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>
- Prasetyo, J., & Aeny, T. N. (2013). The preventive control of white root rot disease in small holder rubber plantation using botanical, biological and chemical agents. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 13(1), 69–74. <https://doi.org/10.23960/j.hppt.11369-74>

- PT. Unitama Analitika Perkasa. (2024). *Carbon dioxide gas measruements with the LI-830 dan Li-859*. <https://www.licor.com/env/support/LI-850/topics/specifications.html>
- Rawls, W. J., Pachepsy, Y. A., Ritchie, J. C., Sobecki, T. M., & Bloodworth, H. (2003). Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma*, *116*(1–2), 61–76. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00094-6](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00094-6)
- Ray, R. L., Griffin, R. W., Fares, A., Elhassan, A., Awal, R., Woldeesenbet, S., & Risch, E. (2020). Soil CO<sub>2</sub> emission in response to organic amendments, temperature, and rainfall. *Scientific Reports*, *10*(1), 5849. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62267-6>
- 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>
- Ruiz, S., Koebernick, N., Duncan, S., Fletcher, D. M., Scotson, C., Boghi, A., Marin, M., Bengough, A. G., George, T. S., Brown, L. K., Hallett, P. D., & Roose, T. (2020). Significance of root hairs at the field scale – modelling root water and phosphorus uptake under different field conditions. *Plant and Soil*, *447*(1–2), 281–304. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04308-2>
- Rusu, T. (2014). Energy efficiency and soil conservation in conventional, minimum tillage and no-tillage. *International Soil and Water Conservation Research*, *2*(4), 42–49. [https://doi.org/10.1016/S2095-6339\(15\)30057-5](https://doi.org/10.1016/S2095-6339(15)30057-5)
- Sahin, S., Ayata, Ü., Bal, B. C., Esteves, B., Can, A., & Sivrikaya, H. (2020). Determination of some wood properties and response to weathering of Citrus limon (L.) Burm wood. *BioResources*, *15*(3), 6840–6850. <https://doi.org/10.15376/biores.15.3.6840-6850>
- Saidy, A. R. (2021). *Stabilisasi Bahan Organik Tanah: Peningkatan Kesuburan Tanah dan Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca*. Deepublish.
- Sebayang, H. T., & Fatimah, S. (2019). The effect of tillage systems and dosages of cow manure on weed and soybeans yield (Glycine max, Merrill). *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, *7*(1), 1959–1963. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2019.071.1959>

- Shakoor, A., Shahbaz, M., Farooq, T. H., Sahar, N. E., Shahzad, S. M., Altaf, M. M., & Ashraf, M. (2021). A global meta-analysis of greenhouse gases emission and crop yield under no-tillage as compared to conventional tillage. *Science of The Total Environment*, *750*, 142299. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142299>
- Silva, B. de O., Moitinho, M. R., Santos, G. A. de A., Teixeira, D. D. B., Fernandes, C., & La Scala, N. (2019). Soil CO<sub>2</sub> emission and short-term soil pore class distribution after tillage operations. *Soil and Tillage Research*, *186*, 224–232. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.10.019>
- Simić, M., Dragičević, V., Mladenović Drinić, S., Vukadinović, J., Kresović, B., Tabaković, M., & Brankov, M. (2020). The Contribution of Soil Tillage and Nitrogen Rate to the Quality of Maize Grain. *Agronomy*, *10*(7), 976. <https://doi.org/10.3390/agronomy10070976>
- Soane, B. D., Ball, B. C., Arvidsson, J., Basch, G., Moreno, F., & Roger-Estrade, J. (2012). No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil and Tillage Research*, *118*, 66–87. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.10.015>
- Sorensen, P. O., Germino, M. J., & Feris, K. P. (2013). Microbial community responses to 17 years of altered precipitation are seasonally dependent and coupled to co-varying effects of water content on vegetation and soil C. *Soil Biology and Biochemistry*, *64*, 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.04.014>
- Stavi, I., & Argaman, E. (2014). No-till systems: Gains and drawbacks for carbon sequestration, ecosystem services and environmental health. *Carbon Management*, *5*(2), 123–125. <https://doi.org/10.1080/17583004.2014.912828>
- 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., Ardika, R., & Saputra, J. (2018). Pengaruh sistem olah tanah dan cover crop terhadap sifat fisik tanah dan pertumbuhan tanaman karet. *Jurnal Penelitian Karet*, 139–148. <https://doi.org/10.22302/ppk.jpk.v35i2.357>
- 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>
- Utomo, M., Buchari, H., Banuwa, I. S., Fernando, L. K., & Saleh, R. (2012). Carbon Storage and Carbon Dioxide Emission as Influenced by Long-term Conservation Tillage and Nitrogen Fertilization in Corn-Soybean Rotation. *Jurnal TANAH TROPIKA (Journal of Tropical Soils)*, 17(1), 75–84. <https://doi.org/10.5400/jts.2012.17.1.75>
- 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>
- Vrignon-Brenas, S., Gay, F., Ricard, S., Snoeck, D., Perron, T., Mareschal, L., Laclau, J.-P., Gohet, É., & Malagoli, P. (2019). Nutrient management of immature rubber plantations. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(1), 11. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0554-6>
- Wahyuni, M., Simanjuntak, J. H., & Sitompul, I. O. (2018). Efektivitas Fungisida Berbahan Aktif Heksakonazol terhadap Penyakit Jamur Akar Putih Bibit Tanaman Karet (*Hevea brasiliensis*). *Agrotekma: Jurnal Agroteknologi dan Ilmu Pertanian*, 3(1), 1. <https://doi.org/10.31289/agr.v3i1.1799>

- Wahyuni, R., Hidayat, M. Y., Saragih, G. S., Efadeswarni, E., Siswadi, S., Pitalokasari, O. D., & Pandiangan, Y. S. H. (2021). Peat water quality in Block C Pulang Pisau Regency, Central Kalimantan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 909(1), 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/909/1/012014>
- West, L. T., Beinroth, F. H., Sumner, M. E., & Kang, B. T. (1998). Ultisols: Characteristics and impacts on society. *Advances in Agronomy*.
- West, T. O., & Post, W. M. (2002). DIVISION S-6—SOIL & WATER MANAGEMENT & CONSERVATION. *SOIL SCI. SOC. AM. J.*, 66, 1930–1946.
- 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>
- Yew, F. (2001). Impact of zero burning on biomass and nutrient turnover in rubber replanting. *Malaysian J Soil Sci*, 5(1), 19–26.
- Zhang, X., Xin, X., Yang, W., Ding, S., Ren, G., Li, M., & Zhu, A. (2021). Soil respiration and net carbon flux response to long-term reduced/no-tillage with and without residues in a wheat-maize cropping system. *Soil and Tillage Research*, 214, 105182. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105182>
- Zhao, X., Zhang, R., Xue, J.-F., Pu, C., Zhang, X.-Q., Liu, S.-L., Chen, F., Lal, R., & Zhang, H.-L. (2015). Management-Induced Changes to Soil Organic Carbon in China. In *Advances in Agronomy* (Vol. 134, pp. 1–50). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.06.002>
- Zhichkina, L., Zhichkin, K., Saidmurodova, M., Kokurin, D., Romanova, J., & Romanova, I. (2021). Influence of basic tillage systems on economic efficiency of soybean cultivation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 937(2), 022128. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/937/2/022128>



- Zhong, Q., Zhang, S., Chen, H., Li, T., Zhang, C., Xu, X., Mao, Z., Gong, G., Deng, O., Deng, L., Zhang, Y., Pu, Y., & Wang, L. (2019). The influence of climate, topography, parent material and vegetation on soil nitrogen fractions. *CATENA*, *175*, 329–338. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.12.027>
- 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>