

Hubungan Praktik Budidaya di Berbagai Perkebunan di Sub-Daerah Aliran Sungai Tuntang Provinsi Jawa Tengah terhadap Karbon Organik Tanah

Yefta Audy Susetyo^{1*)}, Abner Darmawan Sigar¹, Bistok Hasiholan Simanjuntak², Andree Wijaya Setiawan¹, Dina Banjarnahor¹

¹Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian dan Bisnis, Universitas Kristen Satya Wacana, Indonesia

²Magister Ilmu Pertanian, Fakultas Pertanian dan Bisnis, Universitas Kristen Satya Wacana, Indonesia
Jl. Diponegoro 66, Salatiga, Jawa tengah, 50711, Indonesia.

^{*)}Correspondence author: yeftaudy12@gmail.com

Abstrak

Penurunan kandungan karbon organik dalam tanah sering kali menjadi dampak dari penerapan praktik budidaya yang kurang ramah lingkungan di agroekosistem salah satunya adalah lahan perkebunan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi praktik budidaya yang diterapkan di berbagai perkebunan di Sub DAS Tuntang, mengetahui kandungan karbon organik tanah, serta menganalisis hubungan antara praktik budidaya dengan kandungan karbon organik tanah. Penelitian dilakukan melalui survei lapangan di 41 titik sampel menggunakan metode stratified random sampling, disertai observasi agroekosistem dan wawancara petani. Analisis hubungan antara praktik budidaya dengan kandungan SOC dilakukan menggunakan Fisher's Exact Test. Hasil menunjukkan bahwa sebagian besar praktik budidaya seperti pemupukan, pola tanam, pengolahan tanah, penutup tanah, dan pengendalian hama tidak memiliki hubungan signifikan dengan kandungan karbon organik tanah. Namun, pengelolaan sisa tanaman dengan membiarkannya terurai secara alami terbukti memiliki hubungan signifikan dalam meningkatkan kandungan karbon organik tanah. Temuan ini menunjukkan bahwa retensi residu tanaman merupakan strategi yang efektif untuk memperbaiki kualitas tanah sekaligus mendukung upaya mitigasi perubahan iklim di lahan perkebunan.

Kata kunci: Karbon organik tanah, perkebunan, praktik budidaya, Sub DAS Tuntang.

Relationship of Cultivation Practices in Various Plantations in the Tuntang River Sub-Watershed, Central Java Province to Soil Organic Carbon

Abstract

The decline in soil organic carbon (SOC) content is often a consequence of unsustainable cultivation practices in agroecosystems, including plantation areas. This study aims to identify cultivation practices implemented across various plantations in the Tuntang Sub-watershed, determine soil organic carbon content, and analyze the relationship between cultivation practices and SOC levels. The research was conducted through field surveys at 41 sampling points using a stratified random sampling method, accompanied by agroecosystem observations and farmer interviews. The relationship between cultivation practices and SOC was analyzed using Fisher's Exact Test. The results indicate that most cultivation practices—such as fertilization, cropping patterns, tillage, ground cover management, and pest control—did not show a significant relationship with SOC content. However, crop residue management, specifically allowing residues to decompose naturally, was found to have a significant positive effect on SOC levels. These findings suggest that crop residue retention is an effective strategy for improving soil quality and supporting climate change mitigation efforts in plantation areas.

Keywords: Soil organic carbon, plantation, cultivation practices, Tuntang Sub-Watershed.

Received: 30 April 2025; **Revised:** 31 August 2025; **Accepted:** 03 October 2025

PENDAHULUAN

Karbon adalah elemen penting yang saling berhubungan bagi kehidupan di Bumi dan menjaga keseimbangan karbon di lingkungan. Siklus karbon berperan dalam mengatur kadar CO₂ di atmosfer, meminimalisir perubahan suhu yang ekstrem, dan menjaga keseimbangan iklim. Karbon juga dapat menjadi salah satu gas utama yang memicu efek rumah kaca dan memiliki keterkaitan yang kuat dengan perubahan iklim serta pemanasan global (Nedhisa & Tjahjaningrum, 2020). Peningkatan konsentrasi karbon, yang merupakan penyumbang utama perubahan iklim, menjadi penyebab serius kerusakan lingkungan (Jamin et al., 2024).

Aktivitas manusia yang dapat menyumbangkan gas CO₂ salah satunya adalah deforestasi yang menjadi persoalan serius bagi saat ini (Cahyono et al., 2015). Deforestasi menyumbang 18% terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca secara global (Tambunana et al., 2020). Deforestasi dapat mengakibatkan pelepasan karbon yang disimpan dalam tanah dan materi organik, yang ikut berperan dalam meningkatkan kadar karbondioksida di udara (Seydewitz et al., 2023). Salah satu tindakan deforestasi adalah membuka lahan hutan secara besar-besaran untuk diubah menjadi lahan perkebunan (agroekosistem perkebunan).

Agroekosistem perkebunan mampu menyerap CO₂ melalui proses fotosintesis dan menyimpannya sebagai materi organik dalam biomassa pada tanaman (Lense et al., 2022). Perkebunan umumnya diisi dengan vegetasi tanaman tahunan seperti karet, sengon, kopi, kakao. Ketika hutan beralih fungsi menjadi lahan perkebunan, praktik budidaya tanaman tahunan yang dilakukan menjadi lebih intensif dan variatif. Lahan hutan yang tadinya hanya mengandalkan seresah daun sebagai sumber unsur hara sekarang mendapatkan tambahan hara sintetik dari pupuk anorganik maupun pupuk organik ketika diubah menjadi lahan perkebunan. Teknik manajemen di lahan perkebunan, seperti penggunaan pupuk, sistem budidaya (monokultur/tumpang sari), pemberian pestisida dan pengolahan lahan dapat memengaruhi jumlah emisi CO₂ di tanah dan serapan CO₂ di tanah (Yulianingrum et al., 2020). Emisi karbon dari pupuk kimia (anorganik) adalah sebesar 56,74 ton/tahun, pengolahan tanah seluruhnya (tillage) mencapai 9,26 ton/tahun (Prayitno et al., 2019), dan dari pembakaran sebesar 7,9 ton/tahun (Annisa & Nursyamsi, 2017). Sebaliknya, serapan karbon dari praktik pemberian charcoal/pupuk kandang sebesar 5,22 ton/tahun (Purbalisa et al., 2020), sistem penanaman tumpang sari sebesar 4,9 ton/tahun (Sahuri, 2016), penggunaan seresah daun dan tanaman bawah mencapai 9,5 ton/tahun (Abdul Qirom et al., 2021).

Sub-Daerah Aliran Sungai (Sub-DAS) Tuntang Hulu di Kabupaten Semarang, Provinsi Jawa Tengah, memiliki lahan perkebunan yang beragam dengan luas sekitar 22.047,27 ha. Jenis perkebunan yang tersebar di wilayah ini meliputi karet, kelapa, kopi, kakao, serta sistem agroforestri yang mengintegrasikan berbagai jenis tanaman (Sentani et al., 2024). Hingga saat ini, belum diketahui jumlah simpanan karbon tanah di sub-Daerah Aliran Sungai (Sub-DAS) Tuntang Hulu Kabupaten Semarang Provinsi Jawa Tengah sebagai akibat dari berbagai praktik pengelolaan lahan perkebunan. Maka dari itu, perlu dilakukan penelitian tentang simpanan karbon tanah di lahan perkebunan Sub-DAS Tuntang Hulu. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui: 1) praktik budidaya yang diterapkan di berbagai perkebunan di Sub DAS Tuntang 2) mengetahui kandungan C organik tanah di berbagai perkebunan di Sub DAS Tuntang, dan 3) menjelaskan hubungan antara berbagai praktik budidaya dengan kandungan C organik tanah di berbagai perkebunan di Sub DAS Tuntang.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan pada bulan Juli-November 2024. Pengambilan sampel penelitian dilakukan di Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Tuntang Hulu yang terletak pada 10° 15' 50" BT – 110° 33' 20" BT dan 06° 51' 25" LS - 07° 26' 40" LS.

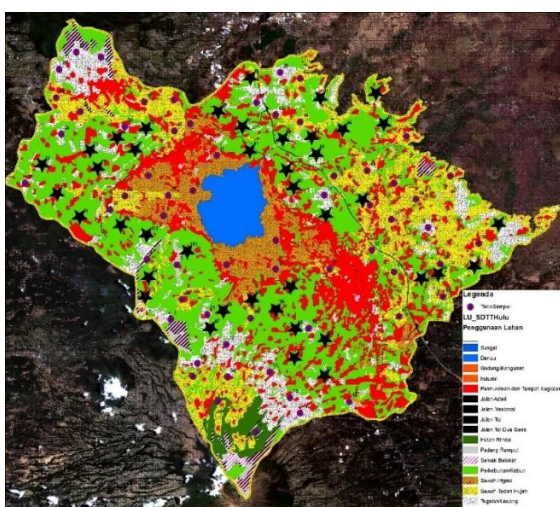
Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi sampel tanah, larutan K₂Cr₂O₇, larutan H₂SO₄, aquades, serta kertas saring. Alat yang digunakan meliputi ring sampel, sekop, pisau, cangkul, tabung

sampel, beaker glass, spektrofotometer, dan perangkat lunak ArcGIS untuk analisis peta. Selain itu, beberapa peta pendukung juga digunakan, yaitu peta topografi, peta penggunaan lahan, dan peta jenis tanah, yang berfungsi sebagai acuan dalam menentukan titik pengambilan sampel.

Metode Penelitian

Penelitian ini dirancang dengan pendekatan eksploratif untuk mengumpulkan basis data simpanan karbon tanah dan praktik budidaya perkebunan di Sub-DAS Tuntang. Melalui penelitian ini berbagai praktik budidaya di lokasi penelitian akan diidentifikasi dan simpanan karbon dalam tanah akan diukur. Penelitian ini dilaksanakan melalui survei lahan/vegetasi perkebunan serta wawancara. Survei lahan/vegetasi dilakukan pada 41 titik sampel perkebunan/kebun yang tersebar di Sub-DAS Tuntang Hulu (**Gambar 1**). Titik sampel dipilih menggunakan metode *probability sampling* dengan *stratified random sampling*. Peta yang digunakan untuk menentukan titik sampel meliputi peta topografi, peta penggunaan lahan, dan peta jenis tanah. Peta-peta tersebut dianalisis menggunakan perangkat lunak ArcGis. Berdasarkan hasil analisis awal terhadap peta, diperoleh 41 titik sampel perkebunan/kebun yang tersebar di wilayah Bawen, Bringin, Tuntang, Jambu.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian di Sub-DAS Tuntang Hulu Kabupaten Semarang Provinsi Jawa Tengah.
*Tanda bintang menunjukkan titik pengambilan sampel tanah

Pada setiap titik sampel, dibuat 1 demplot berukuran 10x10 meter untuk keperluan pengambilan sampel tanah. Satu sampel tanah utuh di setiap demplot diambil menggunakan ring. Satu sampel tanah komposit di setiap demplot diperoleh dengan cara mengambil 20 genggam tanah dari titik-titik berbeda dan mencampurkannya menjadi satu. Pengambilan sampel tanah dilakukan dari kedalaman 0-15 cm saat kondisi tanah agak kering untuk memastikan sampel yang diambil tidak terlalu basah atau terlalu kering, yang dapat mempengaruhi analisis selanjutnya.

Untuk menentukan bobot isi menggunakan metode ring sampel (Zein & Erliana, 2022). Hal yang dilakukan pertama kali yaitu meratakan dan membersihkan lapisan atas tanah yang akan diambil. Tabung diletakkan secara tegak diatas tanah tersebut. Tanah digali di sekeliling tabung menggunakan sekop atau pisau, lalu tanah diiris hingga mendekati tabung. Tabung ditekan hingga $\frac{3}{4}$ bagiannya masuk ke dalam tanah. Tabung kedua diletakkan di atas tabung pertama dan ditekan hingga bagian bawah tabung kedua masuk ke dalam tanah sedalam 1 cm. Tabung digali beserta tanah di dalamnya dengan sekop atau cangkul. Tabung kedua dipisahkan dengan hati-hati, kelebihan tanah pada bagian bawah dan atas tabung dipotong hingga rata. Terakhir, tabung ditutup dengan tutup plastik

Kandungan bahan organik tanah dianalisis dengan menggunakan metode Spektrofotometer (Jannah et al., 2021) di Laboratorium Tanah UKSW. Tanah komposit seberat 1 g ditimbang dan dimasukkan ke dalam beaker glass, ditambahkan 10 ml larutan $K_2Cr_2O_7$ dan 20 ml larutan H_2SO_4 , lalu didiamkan selama 10 menit. Setelah itu, ditambahkan 100 ml aquades dan dibiarkan selama 1 jam. Selanjutnya, larutan disaring menggunakan kertas saring. Filtrat hasil saringan diambil dan absorbansi filtrat diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 584 nm lalu dibandingkan dengan absorbansi deret standar. Kadar bahan organik (%) dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Kadar Bahan Organik} = 100/75 * 100/58 * y/BKM * 100\%$$

Analisis Data

Data kandungan C-organik dalam satuan persen (%) diubah ke dalam satuan megagram per hektar (Mg/ha) untuk menghitung cadangan karbon tanah. Untuk setiap lapisan tanah di setiap lokasi pengambilan sampel, total cadangan karbon organik tanah (SOC, Mg ha⁻¹) dihitung berdasarkan referensi (Liu et al., 2021) menggunakan rumus:

$$SOCT = SOC * BD * H * (1 - \delta > 2 \text{ mm} / 100) * 10$$

Dimana SOC adalah kandungan karbon organik tanah, BD adalah bobot isi tanah (dalam g cm⁻³), H adalah ketebalan lapisan tanah (dalam cm), $\delta_{>2\text{mm}}$ adalah persentase (%) partikel tanah yang berukuran > 2 mm (fraksi pasir).

Kandungan karbon organik tanah (SOC) dalam satuan Mg/ha menunjukkan nilai terendah sebesar 10,42 Mg/ha dan tertinggi mencapai 102,60 Mg/ha. Untuk penelitian ini, nilai SOC tersebut diklasifikasikan ke dalam dua kategori (Tabel 1).

Tabel 1. Klasifikasi Data Karbon Organik Tanah

Karbon Organik Tanah (SOC)	Klasifikasi
Rendah	<50,08 mg/ha
Tinggi	>50,08 mg/ha

Di setiap titik pengambilan sampel tanah, dilakukan observasi terhadap agroekosistem dan juga wawancara dengan petani setempat baik pemilik lahan maupun pengguna lahan. Data yang dikumpulkan selama observasi dan wawancara mencakup: 1) jenis dan frekuensi pupuk, 2) metode pengelolaan tanah, 3) metode pengendalian hama dan penyakit, 4) jenis ternak yang ada di lahan dan frekuensinya 5) Pola tanam sepanjang tahun 6) Penutup tanah dan durasinya 7) Pengelolaan sisa/residu tanaman sepanjang tahun. Data praktik pertanian yang diperoleh sangat bervariasi sehingga kemudian diklasifikasikan (Tabel 2).

Tabel 2. Klasifikasi Data Praktik Pertanian

Praktik Budidaya	Klasifikasi
Pola Tanam	1 = Tumpangsari/campuran 2 = monokultur
Pengolahan Tanah	1 = No tillage 2 = minimum tillage (dicangkul)
Pengelolaan Sisa Tanaman	1 = dibiarkan begitu saja 2 = diolah
Pestisida	1 = Tidak ada pemberian apapun 2 = Pestisida Sintetik (Densis, matador, suprasit, glifosat, 2,4 -D Dimetil Amina, Curacron, marshal)
Penutup Tanah	1 = seresah daun 2 = campuran (seresah daun, teki, tanaman merambat)
Hewan Ternak	1 = tidak ada hewan ternak 2 = ada hewan ternak (ayam, kambing)

Data pemupukan, pola tanam, pengolahan tanah, pengelolaan sisa tanaman, pemberian pestisida, penutup tanah dan hewan ternak dianalisis menggunakan *Fisher's Exact Test* untuk mengetahui hubungan praktik pertanian dengan klasifikasi karbon organik tanah. Selanjutnya, hubungan antar parameter penelitian dijelaskan secara deskriptif menggunakan berbagai literatur pendukung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karbon memiliki peran krusial dalam menjaga kesuburan tanah dan keseimbangan ekosistem pertanian. Di dalam tanah, karbon tersimpan dalam bentuk bahan organik yang berasal dari sisa tanaman, akar, dan aktivitas mikroorganisme. Sebanyak 41 titik lahan perkebunan yang berada di Sub-DAS Tuntang Hulu Kabupaten Semarang Provinsi Jawa Tengah memiliki kandungan SOC yang beragam. Kandungan karbon organik tanah (SOC) dalam satuan Mg/ha menunjukkan nilai terendah sebesar 10,42 Mg/ha dan tertinggi mencapai 102,60 Mg/ha. Menurut (Prajapati et al., 2023) keberadaan karbon ini berkontribusi terhadap peningkatan kualitas tanah dengan memperbaiki struktur, meningkatkan daya serap air, serta menyediakan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman.

Pengelolaan yang tepat terhadap bahan organik dapat menjaga dan meningkatkan kandungan karbon tanah, sehingga mendukung sistem pertanian yang lebih berkelanjutan. Keberadaan karbon dalam tanah memiliki dampak langsung terhadap sifat fisik, kimia, dan biologi tanah, seperti meningkatkan kapasitas pertukaran kation (KTK), memperbaiki struktur tanah, serta meningkatkan daya serap air. Dalam lahan perkebunan yang diisi berbagai jenis tanaman tahunan, memiliki keunggulan dalam mempertahankan karbon karena keberagaman vegetasi yang membantu memperkaya bahan organik tanah (Zhu et al., 2021). (Yulianingrum et al., 2020), mengatakan bahwa terdapatnya tanaman penutup berjenis tanaman tahunan (sengon, karet, kakao) pada lokasi sistem pertanian mampu meningkatkan serapan karbon pada suatu lahan. Serapan karbon dari suatu lokasi bergantung jenis tanaman naungan dan pengelolaan pohon untuk menghasilkan sequestrasi karbon yang tinggi. Serapan karbon pada lokasi yang mempunyai naungan tanaman tahunan akan menghasilkan serapan karbon yang lebih tinggi.

Proses penyerapan dan pelepasan karbon di lahan pertanian sangat bergantung pada kondisi lingkungan serta teknik budidaya yang diterapkan. Teknik budidaya yang meningkatkan kandungan bahan organik di tanah tidak hanya berdampak positif terhadap penyimpanan karbon tetapi juga terhadap kesuburan tanah secara keseluruhan, yang merupakan dasar bagi produktivitas perkebunan yang berkelanjutan (Yadav et al., 2021). Aktivitas mikroorganisme yang menguraikan bahan organik menyebabkan pelepasan karbon dalam bentuk gas CO₂ ke atmosfer. Namun, dengan menerapkan sistem pertanian ramah lingkungan, seperti penggunaan pupuk organik dan teknik pengolahan tanah yang minimal, pelepasan karbon dapat dikurangi. Selain itu, penerapan sistem pertanian terpadu seperti agroforestri, di mana tanaman pertanian dikombinasikan dengan pohon pelindung, dapat meningkatkan penyerapan karbon, sehingga membantu mengurangi dampak negatif terhadap perubahan iklim (Sumarlin et al., 2021).

Di lahan perkebunan, keberlanjutan kandungan karbon dalam tanah sangat bergantung pada metode pengelolaan yang diterapkan. Pemanfaatan pupuk organik dan penerapan teknik konservasi tanah seperti terasering dan strip cropping membantu menjaga kestabilan karbon tanah. Selain itu, penggunaan tanaman penutup tanah serta pengembalian sisa tanaman ke dalam tanah dapat meningkatkan kadar bahan organik tanah sekaligus mendukung ekosistem mikroba yang terlibat dalam siklus karbon (Yulianingrum et al., 2020). Dengan menerapkan praktik pertanian yang mempertahankan karbon tanah, produktivitas lahan dapat ditingkatkan, sekaligus berkontribusi terhadap upaya mitigasi perubahan iklim. Di lahan perkebunan, berbagai teknik budidaya diterapkan untuk menjaga keseimbangan karbon dalam tanah. Pemberian pupuk, baik organik maupun anorganik, berfungsi untuk meningkatkan kandungan bahan organik tanah sekaligus mendukung pertumbuhan tanaman (Yuniarti et al., 2020). Pengolahan tanah yang dilakukan secara tepat dapat mencegah erosi dan menjaga stabilitas struktur tanah. Pola tanam yang dirancang dengan baik serta pengelolaan sisa tanaman juga berperan dalam mempertahankan cadangan karbon tanah (Nugroho, 2018). Selain itu, keberadaan hewan ternak dalam sistem pertanian dapat membantu daur ulang unsur hara melalui pemanfaatan kotoran ternak sebagai sumber bahan organik. Penggunaan pestisida yang terkendali dan penerapan tanaman penutup tanah seperti mulsa organik turut mendukung pelestarian karbon tanah serta mengurangi degradasi lahan akibat penguapan dan erosi (P. Hu et al., 2022).

Pemberian Pupuk/Sumber Hara

Berdasarkan Tabel 3, dari total 21 lahan perkebunan yang menggunakan pupuk organik dalam berbagai jenis (pupuk kandang, seresah daun, dll.) sebanyak 16 lahan (76,2%) memiliki SOC kategori rendah dan ada 5 lahan (23,8%) perkebunan yang menggunakan pupuk campuran (organik dan anorganik) memiliki SOC rendah. Sedangkan, dari total 20 lahan perkebunan yang menggunakan pupuk organik, ada 14 lahan (70,0%) yang memiliki SOC tinggi dan ada 6 lahan (30,0%) Perkebunan dengan yang menggunakan pupuk campuran memiliki SOC tinggi. Berdasarkan hasil uji *Fisher Exact* antara variabel SOC

dan praktik pemupukan, diperoleh nilai p value = 0,655 ($P > 0,05$), yang artinya tidak ada hubungan yang signifikan antara pemberian pupuk terhadap karbon organik tanah (SOC).

Tabel 3. Hubungan Pemberian Pupuk dengan Stok Karbon Organik Tanah (SOC)

Sumber Hara	SOC Rendah		SOC Tinggi		Total		P_value
	n	%	n	%	n	%	
Pupuk Organik	16	76,2	14	70,0	30	73,2	0,655
Pupuk Campuran	5	23,8	6	30,0	11	26,8	
Total	21	100	20	100	41	100	

Peningkatan atau penurunan kandungan karbon organik dalam tanah tidak secara langsung dipengaruhi oleh intensitas atau jenis pemupukan yang dilakukan. Lahan perkebunan yang pada umumnya diisi dengan tanaman tahunan telah memiliki kandungan karbon organik yang relatif stabil dan cukup tinggi. Tanaman tahunan seperti kakao dan karet, menghasilkan biomassa yang besar dan berkelanjutan melalui guguran daun, ranting, dan akar mati yang tertinggal di dalam tanah. Proses dekomposisi biomassa ini memberikan kontribusi alami terhadap peningkatan kandungan karbon tanah dalam jangka panjang tanpa ketergantungan yang tinggi pada input eksternal seperti pupuk. Menurut (Peng et al., 2020), vegetasi dengan sistem akar dalam dan jaringan vegetatif yang luas cenderung mampu memperkaya karbon tanah lebih efektif melalui penambahan bahan organik yang terus-menerus ke permukaan dan bawah tanah. Dalam kajiannya secara global, ditemukan bahwa jenis tanaman dan asosiasi mikoriza memiliki pengaruh besar terhadap konsentrasi karbon di lapisan atas tanah, terutama pada ekosistem dengan tanaman tahunan.

Selain itu, tanah-tanah pada lahan perkebunan tahunan cenderung memiliki ekosistem mikroorganisme yang baik, yang berperan aktif dalam proses dekomposisi dan siklus hara. Keberadaan mikroba tanah yang stabil ini menjadikan proses penambahan karbon ke dalam tanah menjadi lebih bergantung pada bahan organik alami dibandingkan pada pupuk, khususnya pupuk anorganik (Sutarta & Yusuf, 2017). Sejalan dengan itu, (Kamilaris et al., 2020) mengemukakan bahwa meskipun pupuk organik seperti pupuk kandang berpotensi meningkatkan stok karbon tanah, efektivitasnya sangat tergantung pada kondisi awal tanah dan sistem tanam yang digunakan. Di tanah dengan tingkat karbon yang sudah tinggi atau mendekati titik jenuh, penambahan pupuk tidak akan memberikan efek peningkatan signifikan.

Dalam hal ini, dapat diasumsikan bahwa kemungkinan stok karbon di lahan perkebunan telah mencukupi, karena adanya kontribusi jangka panjang dari tanaman tahunan yang tumbuh di sana. Karakteristik tanaman tahunan yang berumur panjang dan tidak dipanen total (seperti tanaman semusim) menyebabkan siklus input bahan organik ke tanah berlangsung secara berkelanjutan, menjaga keseimbangan karbon secara alami. Sejalan dengan penelitian (Koushika et al., 2024), yang menyatakan bahwa sistem pertanian berbasis agroforestri dan tanaman tahunan berperan besar dalam stabilisasi dan akumulasi karbon tanah, jauh lebih efektif dibandingkan sistem pertanian intensif yang mengandalkan input eksternal tinggi.

Meskipun praktik pemupukan secara umum sangat penting dalam menyediakan unsur hara seperti nitrogen, fosfor, dan kalium untuk pertumbuhan tanaman, pengaruhnya terhadap stok karbon tanah tidak selalu langsung atau signifikan. Pemupukan terutama mempengaruhi aspek kesuburan tanah. Selain itu, (Beerling et al., 2023) dalam kajian tentang peningkatan kesuburan tanah melalui pelapukan mineral menunjukkan bahwa praktik seperti pelapukan batuan silikat mampu meningkatkan kualitas tanah dan penyerapan karbon secara tidak langsung.

Pengolahan Tanah

Berdasarkan Tabel 4, dari total 21 lahan perkebunan dengan praktik pengolahan tanpa olah tanah (*no tillage*) ada 6 lahan (28,6%) perkebunan dengan kandungan SOC rendah dan ada 15 lahan (71,4%) perkebunan yang dikelola dengan pengolahan tanah minimum (*minimum tillage*) memiliki SOC rendah. Sedangkan, dari total 20 lahan perkebunan dengan praktik pengolahan tanpa olah tanah (*no tillage*) ada 7 lahan (35,0%) memiliki SOC tinggi dan ada 13 lahan (65,0%) perkebunan yang dikelola dengan pengolahan tanah minimum (*minimum tillage*) memiliki SOC tinggi. Berdasarkan hasil uji Fisher Exact antara variabel SOC dan praktik pengolahan tanah menghasilkan p-value = 0,658 ($p > 0,05$), yang artinya tidak ada hubungan yang signifikan antara praktik pengolahan tanah dengan kandungan karbon organik tanah (SOC).

Tabel 4. Hubungan Pengolahan tanah dengan Stok Karbon Organik Tanah (SOC)

Pengolahan Tanah	SOC Rendah		SOC Tinggi		Total		P_value
	n	%	n	%	n	%	
No Tillage	6	28,6	7	35,0	13	31,7	0,658
Minimum Tillage	15	71,4	13	65,0	28	68,3	
Total	21	100	20	100	41	100	

Eghdami et al., (2019) menyatakan bahwa tanah dengan kapasitas lapang dan kandungan bahan organik tinggi tidak terlalu dipengaruhi oleh metode pengolahan tanah karena sudah memiliki sifat fisik dan kimia yang stabil. Dampak pengolahan tanah terhadap kandungan SOC dalam perkebunan mungkin bersifat situasional dan bergantung pada kondisi spesifik lahan yang dikelola. Hal ini menunjukkan bahwa respons tanah terhadap perlakuan pengolahan sangat bergantung pada karakteristik awal tanah itu sendiri, termasuk tingkat kesuburan, dan kandungan bahan organik. Sejalan dengan pernyataan (De Mastro et al., 2020), pada tanah-tanah yang secara alami telah memiliki struktur yang baik serta kapasitas menahan air dan unsur hara yang tinggi, intervensi melalui pengolahan tanah konvensional maupun minimum tidak memberikan perubahan yang signifikan terhadap dinamika karbon organik

Pengolahan tanah bertujuan untuk meningkatkan aerasi, struktur tanah, dan distribusi air serta unsur hara. Namun, dalam beberapa kondisi, pengolahan tanah yang tidak tepat dapat menyebabkan degradasi tanah dan kehilangan unsur hara melalui erosi atau pencucian. Tanah yang terlalu sering dibajak, misalnya, dapat mengalami penurunan kadar bahan organik dan menyebabkan penurunan produktivitas dalam jangka panjang. Heny (2021) mengatakan bahwa pengolahan tanah yang intensif dapat menyebabkan penurunan simpanan karbon tanah, yang berdampak negatif pada kualitas tanah dan produktivitas tanaman.

Nugroho (2018), mengatakan bahwa pengolahan tanah secara mekanis untuk perkebunan dalam jangka pendek memang memberikan dampak yang negatif bagi lingkungan terutama dalam peningkatan pelepasan CO₂. Begitupun sebaliknya, karbon yang dikeluarkan dalam pengolahan tanah jangka panjang jauh lebih rendah. Pengolahan tanah memiliki dampak yang beragam tergantung pada teknik yang digunakan. Pengolahan tanah konvensional dapat menyebabkan hilangnya agregat tanah yang stabil, sementara teknik konservasi tanah seperti tanpa olah tanah (no-tillage) dapat membantu meningkatkan unsur hara (Husni et al., 2021). Jambak et al., (2017) juga mengatakan bahwa teknik konservasi tanah seperti tanpa olah tanah (no-tillage) dapat membantu meningkatkan unsur hara. Praktik ini juga meningkatkan stabilitas agregat dan kandungan bahan organik tanah, sehingga dapat mengurangi laju dekomposisi karbon dalam tanah.

Pola Tanam

Berdasarkan Tabel 5, dari total 21 lahan perkebunan dengan sistem pola tanam tumpang sari sebanyak 17 lahan (81,0%) perkebunan dengan kandungan SOC rendah dan ada 4 lahan (19,0%) perkebunan monokultur memiliki SOC rendah. Sedangkan, dari total 20 lahan perkebunan dengan sistem pola tanam tumpang sari ada 17 lahan (85,0%) memiliki SOC tinggi dan ada 3 lahan (15,0%) perkebunan monokultur memiliki SOC tinggi. Berdasarkan hasil uji *Fisher Exact* antara variabel SOC dan sistem pola tanam menghasilkan p-value = 0,731 ($p > 0,05$), yang artinya tidak ada hubungan yang signifikan antara sistem pola tanam dengan kandungan karbon organik tanah (SOC).

Tabel 5. Hubungan Pola Tanam dengan Stok Karbon Organik Tanah (SOC)

Pola Tanam	SOC Rendah		SOC Tinggi		Total		P_value
	n	%	n	%	n	%	
Tumpang Sari	17	81,0	17	85,0	34	82,9	0,731
Monokultur	4	19,0	3	15,0	7	17,1	
Total	21	100	20	100	41	100	

Pola tanam memiliki peran penting dalam siklus karbon tanah. Meskipun korelasi antara pola tanam dengan karbon organik tanah tidak signifikan, interaksi antara akar tanaman dan mikroorganisme tanah dapat mempengaruhi dinamika karbon organik. Pola tanam pada lahan perkebunan di SUB DAS

Tuntang diisi dengan tanaman campuran. Rotasi tanaman yang tepat dapat meningkatkan kandungan karbon organik tanah dengan menambah variasi residu tanaman yang terdekomposisi, sehingga meningkatkan kesuburan tanah (Asbur & Ariyanti, 2017). Selain itu, penerapan tanaman penutup tanah dalam rotasi tanaman dapat meningkatkan stok karbon organik tanah, yang berkontribusi pada perbaikan struktur tanah dan peningkatan kapasitas retensi air. Menurut (Li et al., 2022), pola tanam mempengaruhi dinamika unsur hara dalam tanah melalui interaksi antara akar tanaman dan mikroorganisme tanah. Rotasi tanaman, misalnya, dapat membantu memperbaiki struktur tanah dan mengurangi kejenuhan unsur hara tertentu yang terjadi akibat penanaman monokultur.

Namun, efek dari pola tanam terhadap sumber hara tidak selalu langsung terlihat dalam jangka pendek. (Lestari et al., 2021) menunjukkan bahwa sistem tanam beragam (*diversified cropping*) dapat meningkatkan kesuburan tanah dengan mengurangi ketergantungan terhadap pupuk anorganik. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Te et al., 2022) bahwa pola tanam berpengaruh signifikan terhadap kandungan karbon dalam tanah. Sistem tanam tumpangsari seperti *intercropping* tidak hanya meningkatkan kandungan bahan organik tanah tetapi juga berperan dalam sekuestrasi karbon. (Endriani & Kurniawan, 2018) mengatakan tipe tanaman yang tumbuh dapat mempengaruhi kandungan karbon organik tanah. Tanaman yang memiliki akar yang dalam dan sistem perakaran yang kompleks dapat meningkatkan stok karbon organik tanah. Selain itu, rotasi tanaman juga dapat mempengaruhi kandungan karbon organik tanah. Rotasi tanaman yang dilakukan dapat meningkatkan kandungan karbon organik karena penambahan bahan organik dari tanaman yang berbeda.

Pola tanam monokultur dan tumpangsari memiliki pengaruh yang berbeda terhadap kandungan bahan organik dalam tanah. Monokultur, yang hanya menanam satu jenis tanaman dalam satu periode tanam, cenderung menyebabkan degradasi bahan organik tanah dalam jangka panjang. Hal ini terjadi karena kurangnya variasi residu tanaman yang dikembalikan ke tanah, serta eksploitasi unsur hara yang spesifik sesuai dengan kebutuhan tanaman utama. Tanpa rotasi tanaman atau tambahan bahan organik eksternal, tanah dalam sistem monokultur sering mengalami penurunan kadar bahan organik, yang berdampak pada rendahnya kapasitas tanah dalam mempertahankan kelembaban dan ketersediaan nutrisi (Du et al., 2018).

Penutup Tanah

Berdasarkan Tabel 6, dari total 21 lahan perkebunan dengan penutup tanah hanya seresah daun terdapat 7 lahan (33,3%) perkebunan dengan kandungan SOC rendah dan ada 14 lahan (66,7%) penutup tanah campuran memiliki SOC rendah. Sedangkan, dari total 20 lahan perkebunan dengan penutup tanah hanya seresah daun ada 6 lahan (30,0%) memiliki SOC tinggi dan ada 14 lahan (70,0%) perkebunan dengan penutup tanah campuran memiliki SOC tinggi. Berdasarkan hasil uji *Fisher Exact* antara variabel SOC dan penutup tanah menghasilkan $p\text{-value} = 0,819$ ($p > 0,05$), yang artinya tidak ada hubungan yang signifikan antara penutup tanah dengan kandungan karbon organik tanah (SOC).

Tabel 6. Hubungan Penutup Tanah dengan Stok Karbon Organik Tanah (SOC)

Penutup Tanah	SOC Rendah		SOC Tinggi		Total		<i>P_value</i>
	n	%	n	%	n	%	
Seresah daun	7	33,3	6	30,0	13	31,7	0,819
Campuran	14	66,7	14	70,0	28	68,3	
Total	21	100	20	100	41	100	

Meskipun hasil uji tidak menunjukkan hubungan yang signifikan, peran penutup tanah tetap penting dalam menjaga kualitas tanah secara keseluruhan. Hal ini dapat terjadi karena jenis penutup tanah yang digunakan bervariasi sehingga sudah tersedianya unsur hara yang berada di dalam tanah. Penutup tanah seperti mulsa organik (seresah daun) atau tanaman penutup dapat membantu menjaga kelembaban tanah dan meningkatkan kandungan bahan organik tanah. Menurut Li et al. (2020), semakin rapat suatu tegakan akan menghasilkan jumlah serasah yang lebih banyak. Tajuk atau tegakan yang rapat merupakan faktor yang mempengaruhi jatuhnya serasah. (Azurianti et al., 2023), mengatakan bahwa penggunaan tanaman penutup seperti legum dapat meningkatkan kandungan nitrogen di tanah melalui fiksasi biologis dan serasah memiliki potensi yang lebih rendah dalam penyimpanan karbon organik. Hal tersebut karena daun merupakan tempat berlangsungnya proses fotosintesis yang hasilnya didistribusikan ke bagian pohon lainnya sehingga karbon yang tersimpan dalam daun rendah.

Selain itu senyawa organik (protein) yang terkandung pada daun lebih tinggi yang menyebabkan daun lebih cepat terdekomposisi dibandingkan organ batang yang memiliki kandungan selulosa, hemiselulosa yang tinggi dan mengandung lignin, sehingga proses terdekomposisinya membutuhkan waktu yang lama. Oleh karena itu, lama waktu penyimpanan karbon organik pada daun lebih cepat dibandingkan dengan batang. (Villat & Nicholas, 2024) juga mengatakan penanaman penutup tanah secara umum memberikan dampak positif terhadap peningkatan karbon tanah. pada lahan tanaman berkayu menyumbangkan lebih banyak karbon dibandingkan tanaman semusim. Hal ini menunjukkan bahwa penutup tanah lebih efektif dalam meningkatkan sekuestrasi karbon di lahan tanaman tahunan. Dalam jangka panjang, pemilihan jenis penutup tanah yang sesuai serta pengelolaannya yang optimal dapat berkontribusi terhadap peningkatan kesuburan tanah.

Hu et al. (2023) mengatakan dari segi keanekaragaman hayati, penutup tanah berkontribusi dalam meningkatkan aktivitas mikroba tanah, termasuk mikroorganisme simbiosis seperti mikoriza arbuskular, yang berperan dalam membantu tanaman menyerap nutrisi dan air dari tanah. Keberadaan penutup tanah juga dapat mengurangi erosi, meningkatkan retensi air, dan mengurangi kebutuhan pupuk nitrogen sintetis. Penelitian oleh (Moukanni et al., 2022) menunjukkan bahwa penutup tanah (cover cropping) yang tidak hanya meningkatkan karbon organik tanah (SOC) tetapi juga memperkuat ketahanan ekosistem pertanian terhadap perubahan iklim dan rotasi tanaman dengan kombinasi legum dan non-legum guna meningkatkan efisiensi akumulasi karbon.

Penanganan Hama

Berdasarkan Tabel 7, dari total 21 lahan perkebunan yang tidak ada pemberian pestisida apapun sebanyak 16 lahan (76,2%) perkebunan dengan kandungan SOC tinggi dan 5 lahan (23,8%) perkebunan pemberian pestisida sintetis (Densis, matador, glifosat, dll) memiliki SOC kategori rendah. Dari total 20 lahan perkebunan yang tidak ada pemberian pestisida apapun sebanyak 15 lahan (75,0%) perkebunan memiliki SOC tinggi dan ada 5 lahan (25,0%) perkebunan pemberian pestisida sintetis (Densis, matador, glifosat, dll) memiliki SOC tinggi. Berdasarkan hasil uji *Fisher Exact* antara variabel SOC dan praktik penanganan hama menghasilkan p-value = 0,929 ($p > 0,05$), yang artinya tidak ada hubungan yang signifikan antara penutup tanah dengan kandungan karbon organik tanah (SOC).

Tabel 7. Hubungan Pemberian Pestisida dengan Stok Karbon Organik Tanah (SOC)

Penanganan Hama	SOC Rendah		SOC Tinggi		Total		P_value
	n	%	n	%	n	%	
Tidak ada pemberian apapun	16	76,2	15	75,0	31	75,6	0,929
Pestisida sintetis	5	23,8	5	25,0	10	24,4	
Total	21	100	20	100	41	100	

Hal ini menunjukkan bahwa semakin baik ketersediaan hara di tanah, semakin efektif pengelolaan hama yang dilakukan. Hal ini mungkin terjadi karena tanaman yang sehat lebih tahan terhadap serangan hama, sehingga pengelolaan hama dapat dilakukan dengan lebih optimal. Tanaman yang mendapatkan nutrisi optimal memiliki sistem pertahanan yang lebih kuat. Kandungan nitrogen yang cukup, misalnya, dapat meningkatkan sintesis protein struktural dan enzim pertahanan dalam tanaman. Selain itu, unsur hara seperti kalium berperan dalam memperkuat dinding sel tanaman, membuatnya lebih tahan terhadap serangan patogen dan serangga perusak. (Poveda, 2021) menunjukkan bahwa tanah yang kaya unsur hara dapat mendukung pertumbuhan mikroba menguntungkan seperti *Trichoderma* dan *Bacillus* yang membantu tanaman dalam melawan serangan patogen. Selain itu, beberapa unsur hara seperti silikon telah terbukti mampu meningkatkan ketahanan tanaman terhadap hama dengan memperkuat struktur jaringan tanaman. (Setiawati et al., 2020) mendukung bahwa ketersediaan hara yang baik di dalam tanah dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap hama dan penyakit.

Selain itu, karbon yang berasal dari bahan organik juga dapat meningkatkan kapasitas retensi hara dalam tanah, sehingga unsur hara seperti nitrogen dan kalium lebih tersedia bagi tanaman. Seperti yang dijelaskan dalam penelitian (Abdillah, 2021), penambahan bahan organik seperti kompos ampas teh dapat memperbaiki dinamika senyawa kimia tanah, meningkatkan ketersediaan hara, serta memperkuat struktur tanaman, yang berujung pada peningkatan resistensi terhadap hama. Interaksi antara karbon tanah dan mikroba menguntungkan dapat menghasilkan senyawa metabolit sekunder yang berperan dalam meningkatkan pertahanan tanaman. (Meriko et al., 2014) menunjukkan bahwa *Trichoderma*

mampu mengubah sifat kimia dan fisik tanah melalui siklus karbon, sehingga meningkatkan daya tahan tanaman terhadap serangan hama dan penyakit.

Dalam berbagai studi kasus dalam penelitian (Setiawati et al., 2020), tanaman dengan kandungan hara yang optimal memiliki aktivitas enzim pertahanan yang lebih tinggi, yang membantu mengurangi dampak serangan hama. Selain itu, tanah dengan kandungan hara yang seimbang juga cenderung memiliki mikroba menguntungkan yang dapat bersimbiosis dengan akar tanaman untuk meningkatkan ketahanan terhadap patogen. Salah satu faktor yang turut berperan dalam meningkatkan kesuburan tanah dan ketahanan tanaman adalah kandungan karbon organik dalam tanah. Karbon organik dalam tanah berperan dalam memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah, yang pada gilirannya mendukung pertumbuhan tanaman yang lebih sehat dan tahan terhadap hama. Tanah dengan kandungan karbon organik yang tinggi cenderung memiliki struktur yang lebih baik, meningkatkan aerasi dan retensi air, serta mendukung pertumbuhan akar yang optimal sehingga meningkatkan penyerapan unsur hara oleh tanaman. Selain itu, karbon organik tanah juga berperan dalam meningkatkan aktivitas mikroorganisme menguntungkan yang dapat menghasilkan senyawa-senyawa pertahanan alami terhadap hama dan patogen. Studi menunjukkan bahwa sekuestrasi karbon ke dalam tanah melalui peningkatan bahan organik tidak hanya meningkatkan kesuburan tanah tetapi juga memberikan dampak positif pada kualitas lingkungan dan keanekaragaman hayati (Chairunnisya et al., 2017).

Metode pengendalian hama yang lebih mengandalkan teknik spesifik, seperti penggunaan pestisida atau metode hayati. Beberapa lahan perkebunan mungkin juga menerapkan strategi pengendalian hama yang berbeda-beda, tergantung pada jenis tanaman yang dibudidayakan. Dalam praktik pertanian, pengendalian hama yang efektif tidak hanya bergantung pada sumber hara tetapi juga pada strategi terpadu yang melibatkan penggunaan varietas tahan hama, penerapan musuh alami, serta rotasi tanaman.

Pengelolaan Sisa Tanaman

Berdasarkan Tabel 8, dari total 18 lahan perkebunan yang sisa tanamannya dibiarkan begitu saja sebanyak 12 lahan (66,7%) perkebunan dengan kandungan SOC rendah dan 6 lahan (33,3%) perkebunan dengan sisa tanaman yang diolah memiliki SOC kategori rendah. Dari total 23 lahan (100,0%) perkebunan yang sisa tanamannya dibiarkan begitu saja di lahan memiliki SOC tinggi. Berdasarkan hasil uji *Fisher Exact* antara variabel SOC dan pengelolaan sisa tanaman menghasilkan p -value = 0,004 ($p < 0,05$), yang artinya terdapat hubungan yang signifikan antara cara pengelolaan sisa tanaman dengan kandungan karbon organik tanah (SOC).

Tabel 8. Hubungan Pengelolaan Sisa Tanaman dengan Stok Karbon Organik Tanah (SOC)

Pengelolaan Sisa Tanaman	SOC Rendah		SOC Tinggi		Total		<i>P</i> _value
	n	%	n	%	n	%	
Dibiarkan begitu saja	12	66,7	23	100	35	85,4	0,004
Diolah	6	33,3	0	0,0	6	14,6	
Total	18	100	23	100	41	100	

Menurut (Adekiya et al., 2023), pengembalian sisa tanaman ke tanah dapat meningkatkan kandungan karbon organik melalui dekomposisi alami bahan organik. Praktik pengelolaan sisa tanaman memiliki dampak besar terhadap peningkatan karbon organik tanah (SOC), terutama ketika sisa tanaman dibiarkan di lahan tanpa diolah. Ketika residu tanaman dibiarkan membusuk secara alami di permukaan tanah, proses dekomposisi oleh mikroorganisme menghasilkan senyawa organik yang stabil dan meningkatkan kandungan karbon tanah. Sebaliknya, jika sisa tanaman diolah atau diangkat, potensi penambahan bahan organik menjadi lebih kecil. (Bolinder et al., 2020) menjelaskan bahwa mempertahankan residu tanaman di permukaan tanah secara konsisten meningkatkan cadangan karbon organik, terutama pada lapisan atas, sehingga mendukung keberlanjutan fungsi ekosistem pertanian. Penelitian (Xie et al., 2022) menunjukkan bahwa keberadaan residu tanaman di tanah dapat meningkatkan aktivitas gen mikroba yang terlibat dalam dekomposisi karbon dan mineralisasi nitrogen. Proses ini mempercepat pembentukan bahan organik stabil dalam tanah dan berkontribusi langsung terhadap peningkatan kandungan karbon organik secara alami.

Dukungan terhadap manfaat retensi sisa tanaman juga diperkuat oleh temuan (Pradhan et al., 2023), dalam penelitiannya yang menemukan bahwa kombinasi retensi residu dan minimnya gangguan

tanah mampu meningkatkan kandungan SOC secara signifikan, yaitu sekitar 12–13% lebih tinggi dibandingkan dengan lahan yang dikelola secara konvensional. Hasil ini mempertahankan sisa tanaman di lahan merupakan strategi efektif untuk memperbaiki kualitas tanah sekaligus mendukung mitigasi perubahan iklim melalui peningkatan sekuestrasi karbon

Hewan Ternak

Berdasarkan Tabel 9, dari total 21 lahan perkebunan tanpa ada hewan ternak sebanyak 9 lahan (42,9%) perkebunan dengan kandungan SOC rendah dan 12 lahan (57,1%) perkebunan yang terdapat hewan ternak memiliki SOC kategori rendah. Dari total 20 lahan perkebunan tanpa ada hewan ternak sebanyak 10 lahan (50,0%) perkebunan memiliki SOC tinggi dan ada 10 lahan (50,0%) perkebunan yang terdapat hewan ternak memiliki SOC tinggi. Berdasarkan hasil uji *Fisher Exact* antara variabel SOC dan keberadaan hewan ternak menghasilkan $p\text{-value} = 0,647$ ($p > 0,05$), yang artinya tidak ada hubungan yang signifikan antara cara pengelolaan sisa tanaman dengan kandungan karbon organik tanah (SOC).

Tabel 9. Hubungan Keberadaan Hewan Ternak dengan Stok Karbon Organik Tanah (SOC)

Hewan Ternak	SOC Rendah		SOC Tinggi		Total		P_value
	n	%	n	%	n	%	
Tidak ada	9	42,9	10	50,0	19	46,3	0,647
Ada	12	57,1	10	50,0	22	53,7	
Total	21	100	20	100	41	100	

Hal ini mungkin disebabkan bahwa keberadaan ternak tidak secara langsung mempengaruhi kualitas tanah dalam jangka pendek, terutama jika tidak ada sistem integrasi ternak-tanaman yang diterapkan. (Hilwa et al., 2020) mengatakan keberadaan hewan ternak dalam jumlah terbatas, seperti ayam dalam jumlah kecil di lahan perkebunan, mungkin tidak memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan bahan organik dan simpanan karbon tanah. Hal ini disebabkan jumlah kotoran yang dihasilkan sedikit yang membuat jumlah karbon organik yang masuk ke dalam tanah juga terbatas, sehingga tidak terjadi peningkatan simpanan karbon yang signifikan dan tidak mempengaruhi secara signifikan.

Kotoran ternak dapat berperan sebagai pupuk organik yang meningkatkan kandungan bahan organik tanah. Pupuk kandang mengandung unsur hara makro seperti nitrogen, fosfor, dan kalium, serta mikroba yang dapat membantu meningkatkan kesuburan tanah. Namun, efek ini sering kali baru terlihat dalam jangka panjang dan bergantung pada frekuensi serta cara aplikasinya ke tanah. Hu et al. (2023), menyatakan bahwa penggunaan pupuk kandang secara berkelanjutan dapat meningkatkan agregasi tanah dan kapasitas retensi air, yang pada akhirnya mendukung pertumbuhan tanaman. Namun, jika kotoran ternak tidak dikelola dengan baik, dapat terjadi pencemaran lingkungan akibat pelepasan gas rumah kaca seperti metana dan amonia. (Rayne & Aula, 2020), mengatakan bahwa kotoran yang hanya tersebar secara alami oleh ternak yang dilepaskan di lahan, maka penyebarannya tidak merata dan kurang terkelola sehingga dampaknya terhadap kualitas tanah menjadi minimal. Selain itu, ada kemungkinan bahwa jenis ternak yang digunakan tidak memberikan kontribusi yang cukup besar dalam meningkatkan kualitas tanah.

KESIMPULAN

Praktik budidaya yang diterapkan di berbagai perkebunan di Sub DAS Tuntang menunjukkan keberagaman dalam teknik pengelolaan lahan, termasuk penggunaan pupuk (organik maupun campuran), sistem tanam (monokultur dan tumpangsari), metode pengolahan tanah, penggunaan penutup tanah, pengendalian hama, serta keberadaan ternak. Mayoritas lahan perkebunan cenderung menerapkan sistem tanam tumpangsari dan pupuk organik, serta mengelola lahan dengan teknik minimum tillage.

Sebanyak 41 titik lahan perkebunan yang berada di Sub-DAS Tuntang Hulu Kabupaten Semarang Provinsi Jawa Tengah memiliki kandungan SOC yang beragam. Kandungan karbon organik tanah (SOC) dalam satuan Mg/ha menunjukkan nilai terendah sebesar 10,42 Mg/ha dan tertinggi mencapai 102,60 Mg/ha.

Hubungan antara praktik budidaya dan kandungan karbon organik tanah menunjukkan bahwa dari berbagai praktik di lahan perkebunan, hanya pengelolaan sisa tanaman yang memiliki pengaruh signifikan terhadap peningkatan karbon organik tanah. Praktik membiarkan sisa tanaman membusuk alami di

permukaan tanah terbukti meningkatkan kandungan karbon secara nyata, sementara praktik lain seperti pemupukan, pola tanam, dan pengolahan tanah tidak menunjukkan korelasi yang signifikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan penuh hormat, penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi atas dukungan pendanaan penelitian ini. Terima kasih juga disampaikan kepada dosen Agroteknologi Fakultas Pertanian dan Bisnis yang telah memberikan bimbingan, serta rekan-rekan mahasiswa yang berpartisipasi dalam kegiatan observasi lapangan dan analisis laboratorium. Dukungan berbagai pihak tersebut sangat membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, M. H. (2021). Memperbaiki serapan hara dengan aplikasi bahan organik untuk meningkatkan resistensi tanaman cabai terhadap virulensi kutukebul. *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 49(3), 280–287. <https://journal.ipb.ac.id/index.php/jurnalagronomi/article/view/38254>
- Abdul Qirom, M., Ani Mindawati, T., Fakultas Kehutanan Universitas Lambang Mangkurat, Kissinger, K., Fakultas Kehutanan Universitas Lambang Mangkurat, Fithria, A., & Fakultas Kehutanan Universitas Lambang Mangkurat. (2021). Carbon stock potential on various land covers in heath forest in Liang Anggang, South Kalimantan. *Jurnal Galam*, 1(2), 61–78. <https://doi.org/10.20886/glm.2021.1.2.61-78>
- Adekiya, A. O., Alori, E. T., Ogunbode, T. O., Sangoyomi, T., & Oriade, O. A. (2023). *Enhancing Organic Carbon Content in Tropical Soils: Strategies for Sustainable Agriculture and Climate Change Mitigation*. 17. <https://doi.org/10.2174/0118743315282476231124074206>
- Annisa, W., & Nursyamsi, D. (2017). Potensi Emisi Karbon di Lahan Gambut Tropis. *Jakarta: Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa*. https://polbangtan-bogor.ac.id/responsive_filemanager/source/Prof%20Dedi%20Nursyamsi/Prosiding/v%20Prosiding%202017%20-%20Potensi%20Emisi%20Karbon%20di%20Lahan%20Gambut%20Tropis.pdf
- Asbur, Y., & Ariyanti, M. (2017). Peran konservasi tanah terhadap cadangan karbon tanah, bahan organik, dan pertumbuhan kelapa sawit (*Elaeis guineensis* jacq.). *Kultivasi*, 16(3). <https://doi.org/10.24198/kultivasi.v16i3.14446>
- Azurianti, A., Lestariningsih, I. D., Prijono, S., Anggara, A. D., & Lathif, S. (2023). STUDI DAMPAK TUTUPAN LAHAN TERHADAP SIMPANAN KARBON DI KAWASAN HUTAN CEMPAKA, KECAMATAN PRIGEN, PASURUAN, JAWA TIMUR. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 10(2), 255–264. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2023.010.2.9>
- Beerling, D. J., Epihov, D. Z., Kantola, I. B., Masters, M. D., Reershemius, T., Planavsky, N. J., Reinhard, C. T., Jordan, J. S., Thorne, S. J., Weber, J., Martin, M. V., Freckleton, R. P., Hartley, S. E., James, R. H., Pearce, C. R., DeLucia, E. H., & Banwart, S. A. (2023). *Enhanced weathering in the U.S. Corn Belt delivers carbon removal with agronomic benefits* (arXiv:2307.05343). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2307.05343>
- Bolinder, M. A., Crotty, F., Elsen, A., Frac, M., Kismányoky, T., Lipiec, J., Tits, M., Tóth, Z., & Kätterer, T. (2020). The effect of crop residues, cover crops, manures and nitrogen fertilization on soil organic carbon changes in agroecosystems: A synthesis of reviews. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 25(6), 929–952. <https://doi.org/10.1007/s11027-020-09916-3>
- Cahyono, S. A., Warsito, S. P., Andayani, W., & Darwanto, D. H. (2015). Dampak Pemberantasan Korupsi Terhadap Perekonomian, Emisi Karbon Dan Sektor Kehutanan Indonesia (Corruption Eradication

- Impacts on the Economy, Carbon Emissions and Forestry Sector in Indonesia). *Journal of People and Environment*, 22(3), 388–397. <https://doi.org/10.22146/jml.18766>
- Chairunnisya, R. A., Hanum, H., & Hidayat, B. (2017). Aplikasi Bahan Organik dan Biochar untuk Meningkatkan C[∞]Organik, P dan Zn tersedia Pada Tanah Sawah: Application of Organic Matter and Biochar to Increase Organic Carbon, P and Zn Available in Paddy Soil. *JURNAL AGROTEKNOLOGI*, 5(3), 494–499. <https://talenta.usu.ac.id/joa/article/download/2213/1612>
- De Mastro, F., Traversa, A., Coccozza, C., Pallara, M., & Brunetti, G. (2020). Soil Organic Carbon Stabilization: Influence of Tillage on Mineralogical and Chemical Parameters. *Soil Systems*, 4(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/soilsystems4030058>
- Du, J., Han, T., Gai, J., Yong, T., Sun, X., Wang, X., Yang, F., Liu, J., Shu, K., Liu, W., & Yang, W. (2018). Maize-soybean strip intercropping: Achieved a balance between high productivity and sustainability. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(4), 747–754. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61789-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61789-1)
- Eghdami, H., Azhdari, G., Lebailly, P., & Azadi, H. (2019). Impact of Land Use Changes on Soil and Vegetation Characteristics in Fereydan, Iran. *Agriculture*, 9(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/agriculture9030058>
- Endriani, E., & Kurniawan, A. (2018). Konservasi Tanah dan Karbon Melalui Pemanfaatan Biochar Pada Pertanaman Kedelai. *Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan Universitas Jambi*, 2(2), Article 2. <https://doi.org/10.22437/jiituj.v2i2.5980>
- Hilwa, W., Harahap, D. E., & Zuhirsyan, M. (2020). Pemberian pupuk kotoran ayam dalam upaya rehabilitasi tanah ultisol desa janji yang terdegradasi. *Agrica Ekstensia*, 14(1). <https://ejournal.polbangtanmedan.ac.id/index.php/agrica/article/view/37>
- Hu, P., Zhang, R., Yang, J., & Chen, L. (2022). Development Status and Key Technologies of Plant Protection UAVs in China: A Review. *Drones*, 6(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/drones6110354>
- Hu, Q., Thomas, B. W., Powelson, D. S., Hu, Y., Zhang, Y., Jun, X., Shi, X., & Zhang, Y. (2023). Soil organic carbon fractions in response to soil, environmental and agronomic factors under cover cropping systems: A global meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 355(1 OCT), Article 1 OCT. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108591>
- Husni, H., Septiani, W., & Tamzi, F. (2021). Dinamika Simpanan Karbon dan Kepadatan Tanah Setelah Pengolahan Tanah. *Jurnal Agroecotania : Publikasi Nasional Ilmu Budidaya Pertanian*, 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.22437/agroecotania.v4i1.20434>
- Jambak, M., Baskoro, D. P. T., & Wahjunie, E. D. (2017). Karakteristik sifat fisik tanah pada sistem pengolahan tanah konservasi (Studi Kasus: Kebun Percobaan Cikabayan). *Buletin Tanah Dan Lahan*, 1(1), 44–50. https://www.researchgate.net/profile/Enni-Dwiwahjunie/publication/367225963_Characteristics_of_Soil_Physic_on_Soil_Conservation_Tillage_System_Case_Study_Of_Cikabayan_Research_Farm_Bogor/links/63c7ef246fe15d6a572a9562/Characteristics-of-Soil-Physic-on-Soil-Conservation-Tillage-System-Case-Study-Of-Cikabayan-Research-Farm-Bogor.pdf
- Jamin, F. S., Sugito, E., Pramono, S. A., Aristanto, A., & Immamah, E. (2024). Pelatihan Edukasi Peningkatan Kesadaran Sanitasi Lingkungan dalam Menghadapi Peningkatan Pemanasan Global Dunia. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Nusantara*, 5(1), 1500–1508. <http://ejournal.sisfokomtek.org/index.php/jpkm/article/view/3010>
- Jannah, S. W., Rahman, F. A., & Hadi, A. P. (2021). Analisis Kandungan Karbon pada Vegetasi Mangrove di Desa Lembar Kabupaten Lombok Barat. *Bioscientist : Jurnal Ilmiah Biologi*, 9(2), 588–598. <https://doi.org/10.33394/bioscientist.v9i2.4303>

- Kamilaris, A., Mesa, I. F., Savé, R., Herralde, F. D., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2020). *Can animal manure be used to increase soil organic carbon stocks in the Mediterranean as a mitigation climate change strategy?* (arXiv:2007.10823). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2007.10823>
- Koushika, S. P., Krishnaveni, A., Pazhanivelan, S., Bharani, A., Arunkumar, V., Devaki, P., & Muthukrishnan, N. (2024). *Carbon Economics of Different Agricultural Practices for Farming Soil* (arXiv:2403.07530). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.07530>
- Lense, O. N., Rahmadaniarti, A., & Talebong, L. N. (2022). Karbon Tersimpan (C-Stock) di Lantai Hutan Arboretum Fakultas Kehutanan Unipa. *Jurnal Kehutanan Papuaasia*, 8(1), 154–162. <https://jurnalpapuaasia.unipa.ac.id/jurnalpapuaasia/article/download/300/230>
- Lestari, M., Mira, M., Prasetyo, S. Y. J., & Fibriani, C. (2021). Analisis Daerah Rawan Banjir Pada Daerah Aliran Sungai Tuntang Menggunakan Skoring dan Inverse Distance Weighted. *Indonesian Journal of Computing and Modeling*, 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.24246/icm.v4i1.4615>
- Li, Y., Gong, J., Liu, J., Hou, W., Moroenyane, I., Liu, Y., Jin, J., Liu, J., Xiong, H., Cheng, C., Malik, K., Wang, J., & Yi, Y. (2022). Effects of Different Land Use Types and Soil Depth on Soil Nutrients and Soil Bacterial Communities in a Karst Area, Southwest China. *Soil Systems*, 6(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/soilsystems6010020>
- Li, Y., Li, Z., Cui, S., Jagadamma, S., Zhang, Q., & Cai, Y. (2020). Residue retention promotes soil carbon accumulation in minimum tillage systems: Implications for conservation agriculture. *The Science of the Total Environment*, 740, 140147. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140147>
- Liu, Y., Ge, T., van Groenigen, K. J., Yang, Y., Wang, P., Cheng, K., Zhu, Z., Wang, J., Li, Y., Guggenberger, G., Sardans, J., Penuelas, J., Wu, J., & Kuzyakov, Y. (2021). Rice paddy soils are a quantitatively important carbon store according to a global synthesis. *Communications Earth & Environment*, 2(1), 154. <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00229-0>
- Meriko, E., Utomo, M., & Buchari, H. (2014). PENGARUH SISTEM OLAH TANAH DAN PEMUPUKAN NITROGEN JANGKA PANJANG TERHADAP RESPIRASI RIZOSFER DAN NON RIZOSFER PERTANAMAN JAGUNG (*Zea mays* L.). *Jurnal Agrotek Tropika*, 2(2), Article 2. <https://doi.org/10.23960/jat.v2i2.2104>
- Moukanni, N., Brewer, K. M., Gaudin, A. C. M., & O'Geen, A. T. (2022). Optimizing Carbon Sequestration Through Cover Cropping in Mediterranean Agroecosystems: Synthesis of Mechanisms and Implications for Management. *Frontiers in Agronomy*, 4. <https://doi.org/10.3389/fagro.2022.844166>
- Nedhisa, P. I., & Tjahjaningrum, I. T. (2020). Estimasi biomassa, stok karbon dan sekuestrasi karbon mangrove pada *Rhizophora mucronata* di Wonorejo Surabaya dengan persamaan allometrik. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 8(2), E61–E65. http://ejournal.its.ac.id/index.php/sains_seni/article/view/45838
- Nugroho, P. A. (2018). Pengolahan tanah dalam penyiapan lahan untuk tanaman karet. *Perspektif*, 17(2), 129–138. https://www.researchgate.net/profile/Priyo-Nugroho-2/publication/330698832_Soil_Tillage_in_Land_Clearing_for_Rubber_Plantation_Indonesian/link/s/6501653b849bbb203b9799cb/Soil-Tillage-in-Land-Clearing-for-Rubber-Plantation-Indonesian.pdf
- Peng, Y., Schmidt, I. K., Zheng, H., Heděnec, P., Bachega, L. R., Yue, K., Wu, F., & Vesterdal, L. (2020). Tree species effects on topsoil carbon stock and concentration are mediated by tree species type, mycorrhizal association, and N-fixing ability at the global scale. *Forest Ecology and Management*, 478, 118510. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118510>
- Poveda, J. (2021). *Trichoderma* as biocontrol agent against pests: New uses for a mycoparasite. *Biological Control*, 159, 104634. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104634>

Hubungan Praktik Budidaya di Berbagai Perkebunan di Sub-Daerah Aliran Sungai Tuntang Provinsi Jawa Tengah terhadap Karbon Organik Tanah

- Pradhan, A., Wakchaure, G. C., Shid, D., Minhas, P. S., Biswas, A. K., & Reddy, K. S. (2023). Impact of residue retention and nutrient management on carbon sequestration, soil biological properties, and yield in multi-ratoon sugarcane. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1288569>
- Prajapati, S. kumar, Kumar, V., Parmeswar, H., Gairola, A., Borat, R. B., & Srivastava, R. (2023). Peran Karbon Dalam Cetak Biru Kehidupan Dan Daur Siklus Karbon Sistem Siklus Penting Bumi Berdiri:Manfaat dan Kerugian Ke Bumi. *AgriSustain-Jurnal Internasional*, 1(1), 21–32.
- Prayitno, M. B., Runtung, P. E. A., & Karimuddin, Y. (2019). Pengaruh Muka Air Tanah dan Pupuk Nitrogen terhadap Emisi Karbon Tanaman Padi di Tanah Gambut. *Seminar Nasional Lahan Suboptimal*, 0, Article 0. <https://conference.unsri.ac.id/index.php/lahansuboptimal/article/view/1249>
- Purbalisa, W., Zulaehah, I., Paputri, D. M. W., & Wahyuni, S. (2020). Dinamika Karbon dan Mikroba dalam Tanah pada Perlakuan Biochar Kompos Plus. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 17(2), 138–143. <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v17i2.138-143>
- Rayne, N., & Aula, L. (2020). Livestock Manure and the Impacts on Soil Health: A Review. *Soil Systems*, 4(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/soilsystems4040064>
- Sahuri, S. (2016). POTENSI PENYERAPAN KARBON PADA KARET POLA TUMPANGSARI TANAMAN HUTAN. *Jurnal Hutan Tropis*, 4(3), 293–299. <https://ppjp.ulm.ac.id/journal/index.php/jht/article/view/3623>
- Sentani, A., Niam, M. F., & Boogaard, F. C. (2024). Probability of Erosion Utilizing Google Earth Engine and the RUSLE Method in the Tuntang Watershed. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1321(1), 012001. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1321/1/012001>
- Setiawati, W., Hasyim, A., Udiarto, B. K., & Hudayya, A. (2020). Pengaruh Magnesium, Boron, dan Pupuk Hayati terhadap Produktivitas Cabai serta Serangan Hama dan Penyakit (Effect of Magnesium, Boron, and Biofertilizers on Chili Pepper Productivity and Impact of Pests and Diseases). *Jurnal Hortikultura*, 30(1), 71. <https://www.academia.edu/download/98213994/.pdf.pdf>
- Seydewitz, T., Pradhan, P., Landholm, D. M., & Kropp, J. P. (2023). Deforestation Drivers Across the Tropics and Their Impacts on Carbon Stocks and Ecosystem Services. *Anthropocene Science*, 2(1), 81–92. <https://doi.org/10.1007/s44177-023-00051-7>
- Sumarlin, D., Gusmayanti, E., & Anshari, G. Z. (2021). Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Dan Cadangan Karbon Sebagai Indikator Degradasi Lingkungan Di Kecamatan Sandai Kabupaten Ketapang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 19(3), 576–581. <https://www.academia.edu/download/72409841/pdf.pdf>
- Sutarta, E. S., & Yusuf, M. A. (2017). Distribusi hara dalam tanah dan produksi akar tanaman kelapa sawit pada metode pemupukan yang berbeda. *Jurnal Online Pertanian Tropik*, 4(1), 84–94. <https://talenta.usu.ac.id/jpt/article/download/3074/2312>
- Tambunana, A., Purba, T., & Rozalina, R. (2020). Analisis Laju Deforestasi di DAS Bah Bolon Berbasis Sistem Informasi Geografis. *Akar*, 2(2), 79–89. <https://doi.org/10.36985/jar.v9i2.314>
- Te, X., Hassan, M. J., Cui, K., Xiao, J., Aslam, M. N., Saeed, A., Yang, W., & Ali, S. (2022). Effect of different planting pattern arrangements on soil organic matter and soil nitrogen content under a maize/soybean strip relay intercropping system. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.995750>
- Villat, J., & Nicholas, K. A. (2024). Quantifying soil carbon sequestration from regenerative agricultural practices in crops and vineyards. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1234108>

- Xie, Z., Yu, Z., Li, Y., Wang, G., Liu, X., Tang, C., Lian, T., Adams, J., Liu, J., Liu, J., Herbert, S. J., & Jin, J. (2022). Soil microbial metabolism on carbon and nitrogen transformation links the crop-residue contribution to soil organic carbon. *NPJ Biofilms and Microbiomes*, 8(1), 14. <https://doi.org/10.1038/s41522-022-00277-0>
- Yadav, R. K., Purakayastha, T. J., Ahmed, N., Das, R., Chakrabarty, B., Biswas, S., Sharma, V. K., Singh, P., Talukdar, D., & Mourya, K. K. (2021). Long-term effect of fertilization and manuring on soil aggregate carbon mineralization. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 91(2), 254–257. <https://www.academia.edu/download/95674606/43764.pdf>
- Yulianingrum, H., Yuniarti, I. F., & Ulu, M. A. N. (2020). Budidaya kopi rakyat dengan pengeelolaan bahan organik mengurangi emisi gas rumah kaca dan cadangan karbon. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(1), 97–106. <http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=1547194&val=1315&title=Budidaya%20Kopi%20Rakyat%20dengan%20Pengeelolaan%20Bahan%20Organik%20Mengurangi%20Emisi%20Gas%20Rumah%20Kaca%20dan%20Cadangan%20Karbon>
- Yuniarti, A., Damayani, M., & Nur, D. M. (2020). EFEK PUPUK ORGANIK DAN PUPUK N,P,K TERHADAP C-Organik, N-Total, C/N, SERAPAN N, SERTA HASIL PADI HITAM (*Oryza sativa* L. indica) PADA INCEPTISOLS. *Jurnal Pertanian Presisi (Journal of Precision Agriculture)*, 3(2), Article 2. <https://doi.org/10.35760/jpp.2019.v3i2.2205>
- Zein, O. S., & Erliana, N. (2022). Penggunaan limbah organik cair pabrik kelapa sawit dan industri tahu dalam meningkatkan kualitas fisikokimia dan stok karbon tanah haplustepts. *Jurnal Ilmiah Pertanian*, 19(2), 107–117. <https://journal.unilak.ac.id/index.php/jip/article/view/9884>
- Zhu, G., Qiu, D., Zhang, Z., Sang, L., Liu, Y., Wang, L., Zhao, K., Ma, H., Xu, Y., & Wan, Q. (2021). Land-use changes lead to a decrease in carbon storage in arid region, China. *Ecological Indicators*, 127, 107770. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X21004350>