

Dinamika Karbon Organik, Respirasi, dan Kelembapan Tanah pada Perbedaan Penutup Tanah dan Pupuk Organik Cair di Perkebunan Rakyat

(Dynamics of Soil Respiration, Organic Carbon, and Soil Moisture under Different Ground Cover Vegetation and Liquid Organic Fertilizer in Smallholder Plantations)

Sakiah ^{1*}, Indah Trimuliani Purba ¹, Arie Hapsani Hasan Basri ²

¹Program Studi Budidaya Perkebunan, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sawit Indonesia, Jl. Willem Iskandar, Medan Estate, Kota Medan, Sumatera Utara, 20371, Indonesia

²Program Studi Teknologi Produksi Tanaman Perkebunan, Politeknik Pembangunan Pertanian Medan, Jl. Binjai Km. 10, Medan, Sumatera Utara, 20002, Indonesia

E-mail: sakiah@itsi.ac.id

ARTICLE INFO

Article history

Submitted: March 25, 2025

Accepted: September 9, 2025

Published: November 9, 2025

Keywords:

Arachis pintoi,
biological activity,
cover crop,
grass,
soil health

ABSTRACT

The selection of cover crops is crucial in agricultural practices to improve soil quality and plant productivity. This research aims to analyze the effects of soil cover vegetation and liquid organic fertilizer (LOF) on soil organic carbon, soil respiration, and soil moisture. The research was conducted on a smallholder plantation in Kandungan Village, Laut Tador District, Batubara Regency, from April to September 2024. The method used was a factorial Randomized Block Design (RBD) with two factors: vegetation of soil cover (vegetated, bare, and planted with pinto beans) and LOF type (from cow feces and cow urine). Data were analyzed using ANOVA with SPSS software version 27. Differences in vegetation and the use of LOC cow manure affected soil organic carbon and soil respiration, but did not affect soil moisture. Pinto bean vegetated fields increased soil organic carbon more than natural vegetation/grass. In contrast, soil respiration was higher in natural and grass-vegetated areas than in pinto bean-vegetated areas, indicating a higher vegetation density that contributed more CO₂. The interaction of vegetation and LOF influenced soil organic carbon, which was highest in the pinto bean vegetated land irrigated with cow urine LOF, while soil respiration was higher in the grass vegetated land irrigated with cow urine LOF. Cow urine LOF is better at increasing soil biological activity.



Copyright © 2025 Author(s). This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan komoditas penting bagi perekonomian Indonesia. Luas areal kelapa sawit di Indonesia telah mencapai 16,83 juta hektare dengan 60% dikelola oleh perkebunan besar negara dan swasta dan 40% dikelola oleh perkebunan rakyat. Hal ini menunjukkan besarnya peran perkebunan rakyat dalam industri sawit nasional. Namun demikian, produktivitas perkebunan rakyat secara rata-rata hanya 2-3 ton CPO per hektare (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2023). Rendahnya produktivitas tersebut disebabkan oleh

berbagai faktor, diantaranya adalah kualitas tanah. Kualitas tanah tercermin dari karakteristik fisik, kimia, dan biologi tanah, yang mana pengolahan tanah dan penggunaan lahan merupakan faktor yang sangat mempengaruhi (Chamorro-martínez et al., 2022). Indikator yang menunjukkan respons cepat akibat pengolahan tanah dan penggunaan lahan tercermin dari aktivitas biologis tanah (Sarkar et al., 2022).

Biota tanah melakukan banyak proses yang sangat penting bagi kualitas tanah. Creamer et al. (2022) mengintegrasikan peran biota tanah kedalam empat fungsi utama dalam mendukung berbagai proses dalam tanah yang mendasari kualitas tanah, yaitu regulasi karbon dan iklim, air dan pemurniannya, siklus unsur hara serta regulasi hama dan penyakit. Aktivitas biologi sebagian besar terjadi pada lapisan tanah atas hingga kedalaman tanah 30—45 cm. Hal ini berkenaan dengan sumber bahan organik berada di tanah lapisan atas dan terdistribusi sampai tanah lapisan bawah oleh biota tanah. Oleh karena itu, vegetasi maupun tanaman penutup tanah sebagai sumber bahan organik primer berperan penting terhadap kualitas tanah. Vegetasi merupakan tumbuhan yang tumbuh alami pada permukaan tanah sedangkan tanaman penutup tanah merupakan penanaman tanaman sekunder untuk mendukung tanaman primer melalui berbagai mekanisme termasuk pengendalian erosi, penekanan gulma, pengelolaan nutrisi, dan peningkatan keanekaragaman hayati (Seitz et al., 2024). Vegetasi di bawah tegakan tanaman utama sering dianggap sebagai kompetitor yang akan merugikan secara ekonomi. Paradigma tersebut mulai bergeser dengan pertimbangan buruknya kesehatan tanah dan isu lingkungan yang semakin hangat. Menipisnya kadar bahan organik tanah (Farrasati et al., 2019), terjadinya pemanasan global yang menyebabkan perubahan iklim, distribusi curah hujan yang tidak normal (Sakiah et al., 2021) memicu banjir dan kekeringan yang pada akhirnya berdampak pada penurunan produktivitas tanaman (Syarovy et al., 2015). Yahya et al. (2022) dan (Pradiko et al., 2020) melaporkan, vegetasi dibawah tegakan kelapa sawit berperan penting dalam menunjang keberlanjutan kelapa sawit, baik sebagai penutup tanah, sumber hijauan, serta berperan dalam daur karbon dan hara.

Perkebunan kelapa sawit dibawah pengelolaan perusahaan umumnya menggunakan *Mucuna bracteata*, *Calopogonium muconoides* maupun *Centrosema pubescens* sebagai tanaman penutup tanah. Sistem akar tunggang *M. bracteata* berkontribusi pada aerasi tanah dan pengurangan pemadatan. Potensi alelopati *M. bracteata* menawarkan pendekatan ramah lingkungan untuk pengendalian gulma dan mengurangi ketergantungan pada herbisida sintesis. Selain itu, masuknya *M. bracteata* ke dalam tanah memiliki potensi untuk meningkatkan populasi organisme yang menguntungkan dan mendukung keanekaragaman hayati yang lebih besar (Dissanayaka et al., 2024). Hasil penelitian Sakiah et al. (2017) menunjukkan bahwa penanaman *M. bracteata* pada lahan datar dan berlereng jenis tanah Ultisol, memberikan dampak yang bervariasi terhadap kerapatan massa, kadar C-organik, dan N total tanah. Kerapatan massa tanah menurun 12,64% pada lahan datar dan 6,04% pada lahan berlereng, sedangkan kadar bahan organik tanah meningkat 42,74% dan 15,11% serta meningkatkan kadar N-total tanah 31% pada areal datar. Hal ini dipertegas Wawan et al. (2019) bahwa penggunaan *M. bracteata* menurunkan limpasan permukaan dan erosi dibanding lahan tanpa *M. bracteata* sekalipun pada lereng yang lebih curam.

Penanaman *M. bracteata* sebagai penutup tanah diketahui memiliki banyak manfaat dalam mendukung produktivitas lahan, meskipun demikian, pada perkebunan rakyat pola swadaya

umumnya areal antar tanaman kelapa sawit ditumbuhi rerumputan tetapi ada juga yang bersih dari rerumputan (vegetasi alami). Keterbatasan dana dan keterampilan mengelola tanaman penutup tanah menjadi alasan utama petani. Salah satu tanaman leguminose yang mudah didapatkan adalah *Arachis pintoi*. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk mendapatkan alternatif penutup tanah yang sifatnya seperti LCC pada umumnya (Asbur et al., 2018). Upaya lain yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas tanah adalah dengan memanfaatkan bahan organik atau pupuk organik *in situ* yang mudah diperoleh petani/pekebun seperti kotoran hewan, limbah pertanian atau limbah organik lainnya (Sakiah et al., 2024a; Sakiah et al., 2024b). Kedua faktor ini memiliki potensi untuk memengaruhi berbagai parameter kualitas tanah, seperti kandungan karbon organik, respirasi tanah dan kelembapan tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh vegetasi penutup tanah dan pupuk organik cair kotoran lembu terhadap C-organik, respirasi tanah, dan kelembapan tanah.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Perkebunan Rakyat di Desa Kandangan, Kabupaten Batubara dari April hingga September 2024. Bahan yang digunakan berupa bibit kacang pinto, feses lembu, urine lembu, kertas label, Dekomposer EM4, molase, kalium dikromat, asam sulfat, asam fosfat, fero amonium sulfat. Alat-alat yang digunakan yaitu cangkul, gembor, ember, timbangan, meteran, batang pengaduk, buret, statif, dan erlenmeyer.

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial dengan pola dua faktor. Faktor pertama yaitu penutup tanah, terdiri atas tiga taraf yakni tanah bervegetasi rumput (C_0), tanah tanpa vegetasi (disiangi) (C_1), dan tanah bervegetasi kacang pinto (C_2). Adapun faktor kedua yaitu pupuk organik cair dengan dua taraf yakni POC dari feses lembu (P_1) dan POC dari urine lembu (P_2). Kombinasi perlakuan keseluruhan enam macam, setiap perlakuan diulang tiga kali dan dihasilkan 18 satuan percobaan. Selanjutnya, dilakukan *analysis of variance* menggunakan software SPSS versi 27. Hasil analisis yang menunjukkan pengaruh nyata pada perlakuan jenis vegetasi penutup tanah maupun perlakuan POC maka dilakukan uji lanjut DMRT pada taraf 5%.

Variabel pengamatan pada penelitian ini yaitu (1) C-organik tanah; pengambilan sampel tanah dilakukan menggunakan bor tanah pada lapisan 0-20 cm, kadar C-organik dianalisis menggunakan metode *Walkley & Black* (Mouridi et al., 2023). (2) Respirasi tanah; aktivitas mikroba tanah yang diukur dengan metode perangkap CO_2 atau metode JAR (Elfati & Susilowati, 2019). (3) kelembapan tanah; pengukuran kelembapan tanah dilakukan di lapangan menggunakan alat *Soil Moisture* Takemura DM 15.

Adapun tahapan penelitian ini yaitu pembuatan POC dari feses lembu dengan cara mengambil 5 kg kotoran lembu (feses) yang sudah berubah warna kecoklatan, molase 1 liter dan air bersih sebanyak 10 liter, dimasukkan kedalam wadah tertutup, selanjutnya diaduk sampai homogen (tercampur secara merata). Wadah ditutup rapat dan difermentasikan selama 14 hari. Pembuatan POC dari urine lembu dengan cara mencampurkan 20 liter urine lembu, molase 1 kg, dekomposer EM4 dan air sebanyak 4 liter. Setelah semua tercampur ditutup rapat dalam wadah dan didiamkan selama 3 minggu. Setiap hari tutup dibuka untuk membuang gas yang dihasilkan. Pengaplikasian POC dilakukan pada sore hari dengan konsentrasi 10% (1 POC : 10 air).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Vegetasi Penutup Tanah dan Pupuk Organik Cair pada C-Organik

Kandungan C-organik tanah merupakan indikator penting dalam menilai kualitas tanah dan keberlanjutan pertanian. C-organik berperan dalam meningkatkan struktur tanah, kapasitas menahan air, dan ketersediaan unsur hara bagi tanaman. Menurut Mulyadi et al. (2021), C-organik merupakan komponen utama dalam bahan organik tanah yang mencerminkan keberadaan dan kualitas bahan organik tersebut. Kandungan ini diukur sebagai persentase dari total massa tanah. Kandungan C-organik tanah berasal dari hasil dekomposisi sisa-sisa tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme. Rataan kadar C-organik tanah terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Interaksi antara vegetasi penutup tanah dan pupuk organik cair pada rerata kadar C-organik tanah

C/P	POC feses lembu (P ₁)	POC urine lembu (P ₂)
	%	
C ₀ (tanah bervegetasi alami/rumput)	0,420 A	0,713 A
C ₁ (tanah tanpa vegetasi/disiangi)	0,443 A	0,553 A
C ₂ (tanah bervegetasi kacang pinto)	0,553 A	1,480 B

Keterangan: Nilai rata-rata yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji DMRT pada taraf 5%

Rataan C-organik tanah pada perlakuan vegetasi kacang pinto disertai pemberian pupuk organik cair urine lembu (C₂P₂) berbeda nyata dengan perlakuan lainnya dengan nilai C-organik tanah 1,48%. Berdasarkan kriteria penilaian sifat kimia tanah, kadar C-organik pada C₂P₂ termasuk kriteria rendah, sedangkan pada perlakuan lainnya termasuk kriteria sangat rendah. Hal ini menandakan kacang pinto sebagai penutup tanah disertai pemberian POC urine lembu mampu meningkatkan rata-rata kadar C-organik tanah. Kacang pinto berperan penting dalam perbaikan tanah (de Sousa et al., 2024), meskipun pertumbuhan pada awalnya lambat tetapi mampu menutupi seluruh permukaan tanah dengan sempurna tanpa melilit tanaman utama (Chozin et al., 2018). Sedangkan urine lembu mengandung berbagai nutrisi penting, hormon yang dapat memacu pertumbuhan tanaman serta mikroorganisme. Vebriyanti et al., (2022) mengemukakan, urine sapi mengandung berbagai bakteri bermanfaat seperti bakteri asam laktat, bakteri khamir dan bakteri nitrifikasi. Selain itu, urine sapi juga mengandung karbon (C) 20-24 ppm, N 1-2,5 ppm, P 1-2,5 ppm, K, Fe, dan Cu. Mineral-mineral yang terkandung dalam urine lembu memacu aktivitas organisme tanah yang berkontribusi pada peningkatan C-organik tanah. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa pupuk organik cair, terutama yang berasal dari urine ternak, dapat meningkatkan kandungan C-organik tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman.

Karbon (C) organik merupakan inti bahan organik tanah yang berkontribusi besar terhadap kesehatan dan kualitas tanah. Namun, kenyataan di lapangan menunjukkan komposisi C-organik tanah pada penelitian ini sangat rendah, meskipun telah diberikan penambahan pupuk organik cair dari kotoran lembu, hanya pada perlakuan tanah bervegetasi kacang pinto dan disertai pemberian POC urine lembu yang memiliki kadar C-organik rendah (1% hingga 2%). Hal ini

menunjukkan bahwa tantangan di lapangan dalam upaya mempertahankan maupun meningkatkan kadar C-organik tanah dibutuhkan *effort* besar, mengingat Indonesia merupakan wilayah beriklim tropis basah memicu terjadinya kehilangan bahan tanah akibat erosi maupun *run off*. Satriawan et al. (2021) mengemukakan C-organik, N, P, dan K yang terbawa hujan (dalam sedimen) secara berurutan 2,70-4,39%, 0,22-0,43%, 1,37-2,47 ppm, dan 0,28-0,44 ppm, areal tanpa penutup tanah dan tanpa teknik konservasi menyebabkan kehilangan nutrisi tanah yang lebih besar. Disamping itu, kadar C-organik tanah dipengaruhi oleh lamanya lahan ditutupi oleh tanaman penutup (Sakiah et al., 2025) serta umur tanaman kelapa sawit (Golicz et al., 2024).

Pengaruh Jenis Penutup Tanah dan Pupuk Organik Cair pada Respirasi Tanah

Respirasi tanah adalah proses biologis yang melibatkan penggunaan oksigen (O_2) dan pelepasan karbon dioksida (CO_2) oleh organisme tanah, termasuk mikroba, fauna tanah dan akar tanaman (NRCS-USDA, 2014). Menurut Pane et al. (2023), organisme tanah mengonsumsi oksigen dalam proses dekomposisi bahan organik, mengubah hara menjadi bentuk tersedia bagi tanaman dan melepaskan CO_2 ke atmosfer sebagai produk akhir dari proses metabolisme aerob. Hasil pengamatan respirasi tanah tercantum pada Tabel 2.

Tabel 2. Interaksi antara vegetasi penutup tanah dan pupuk organik cair pada rerata respirasi tanah

C/P	POC feses lembu (P_1)	POC urine lembu (P_2)
	$mgCO_2 \cdot hari^{-1} \cdot m^{-2}$	
C_0 (tanah bervegetasi alami/rumput)	1,886 B	2,428 B
C_1 (tanah tanpa vegetasi/disiangi)	1,714 A	1,485 A
C_2 (tanah bervegetasi kacang pinto)	1,314 A	2,371 B

Keterangan: Nilai rata-rata yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji DMRT pada taraf 5%

Respirasi tanah berbeda nyata pada perlakuan tanah bervegetasi alami/rumput yang diberi POC feses lembu (C_0P_1) dengan tanah tanpa vegetasi/disiangi yang diberi POC feses lembu (C_1P_1) dan POC urine lembu (C_1P_2) serta tanah bervegetasi kacang pinto yang diberi POC feses lembu, (C_2P_1) tetapi tidak berbeda nyata dengan tanah bervegetasi alami/rumput yang diberi POC urine lembu (C_0P_2) dan tanah bervegetasi kacang pinto yang diberi POC urine lembu (C_2P_2). Secara umum, respirasi tanah dikaitkan dengan kesehatan tanah, namun beberapa sifat tanah menentukan besarnya respirasi tanah secara periodik. Artinya, respirasi tanah dapat berubah sewaktu-waktu yang disebabkan perubahan lingkungan sekitar. Musim dan tipe tanah mempengaruhi respirasi tanah, secara keseluruhan suhu tanah dan tipe tanah paling dominan (Dacal et al., 2021; Liu et al., 2024). Kelembapan tanah, suhu, sifat fisiko-kimia tanah, aktivitas enzim, dan perubahan penggunaan lahan menyebabkan perubahan aktivitas mikrobial tanah dan respirasi tanah yang pada akhirnya mempengaruhi kesuburan dan kesehatan tanah (Tiwari & Meena, 2025)

Respirasi tanah pada lahan tanpa vegetasi/disiangi lebih rendah dibanding pada lahan bervegetasi/berpenutup tanah. Menyiangi lahan sama halnya dengan membersihkan vegetasi pada permukaan tanah, tindakan ini mendorong terjadinya pengikisan lapisan bahan organik tanah, menipisnya substrat organik yang pada akhirnya menekan aktivitas mikroorganisme. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa keberadaan vegetasi atau tanaman penutup tanah

memengaruhi respirasi tanah melalui *autotrophic respiration* yaitu respirasi yang dihasilkan oleh komponen dibawah tanah yang memiliki akar tanaman dan bagian rizosfer (Raich & Tufekciogul, 2000). Aktivitas mikroorganisme tanah menjadi lebih tinggi dengan adanya vegetasi/tanaman penutup tanah karena sisa-sisa tumbuhan/serasah merupakan bahan makanannya, aktivitas ini merupakan respirasi heterotrofik (*heterotrophik respiration*) yang diakumulasi sebagai respirasi tanah. Secara keseluruhan, bahwa mengukur respirasi tanah berarti mengukur aktivitas metabolik komunitas mikroba tanah yang dikenal sebagai mineralisasi karbon (Hopwood et al., 2021), sehingga manajemen vegetasi penting diperhatikan dalam upaya meningkatkan kesehatan tanah (Agyei et al., 2024).

Pengaruh Jenis Penutup Tanah dan Pupuk Organik Cair pada Kelembapan Tanah

Kelembapan tanah merupakan salah satu faktor lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Kelembapan tanah dapat mempengaruhi kehidupan biologi di dalam tanah, seperti patogen tanah, tanaman inang, dan mikroorganisme lainnya dalam tanah. Menurut Mardika & Kartadie (2019), kelembapan tanah adalah air yang mengisi sebagian atau seluruh pori-pori tanah di atas *water table*. Hasil penelitian tingkat kelembapan tanah dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Interaksi antara vegetasi penutup tanah dan pupuk organik cair pada rerata kelembapan tanah

C/P	POC feses lembu (P ₁)	POC urine lembu (P ₂)
	%.....	
C ₀ (tanah bervegetasi alami/rumput)	64,42	64,25
C ₁ (tanah tanpa vegetasi/disiangi)	64,92	64,46
C ₂ (tanah bervegetasi kacang pinto)	65,33	64,92

Kelembapan tanah berbeda tidak nyata pada semua perlakuan, rata-rata kelembapan tanah 64%-65%. Komponen utama yang mempengaruhi besarnya jumlah air yang dapat ditahan oleh tanah adalah bahan organik tanah. Kadar C-organik tanah telah dibahas sebelumnya, diketahui kadar C-organik tanah pada semua perlakuan berada pada kriteria sangat rendah (0,420%-0,713%), kecuali pada C₂P₂ yakni rendah (1,480%). Hasil ini menjelaskan bahwa rendahnya selisih kadar C-organik tanah pada tiap perlakuan belum dapat berkontribusi secara signifikan meningkatkan kemampuan tanah menahan air yang akan berimplikasi pada kelembapan tanah. Li et al. (2024) mengemukakan, tidak ada korelasi yang signifikan antara lempung dan kadar air tersedia, tetapi hubungan positif yang signifikan pada kadar C-organik tanah dengan kadar air tersedia, peningkatan kadar air tanah sebagian besar disebabkan oleh peningkatan C-organik tanah. Namun demikian, kadar air tanah tidak meningkat signifikan ketika kadar C-organik tanah < 10 g.kg⁻¹.

KESIMPULAN

Perbedaan penutup tanah dan penggunaan pupuk organik cair (POC) kohe lembu berpengaruh terhadap C-organik dan respirasi tanah, tetapi tidak berpengaruh pada kelembapan tanah. Plot yang ditanami kacang pinto dan disirami POC urine lembu berkontribusi dalam meningkatkan C-organik tanah, keberadaan vegetasi/tanaman penutup tanah mendorong aktivitas biologis tanah yang ditunjukkan melalui respirasi tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Agyei, B., Sprunger, C. D., Anderson, E., Curell, C., & Singh, M. P. (2024). Farm-level variability in soil biological health indicators in Michigan is dependent on management and soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 8(2), 326–338. <https://doi.org/10.1002/saj2.20630>
- Asbur, Y., Rambe, R. D. H., Purwaningrum, Y., & Kusbiantoro, D. (2018). Potensi beberapa gulma sebagai tanaman penutup tanah di area tanaman kelapa sawit menghasilkan. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 26(3), 113–128. <https://doi.org/10.22302/iopri.jur.jpks.v26i3.69>
- Chamorro-martínez, Y., Torregroza-Espinosa, A. C., Pallares, M. I. M., Osorio, Pinto, D., Paternina, A. C., & Echeverra-Gonzalez, A. (2022). Soil macrofauna, mesofauna and microfauna and their relationship with soil quality in agricultural areas in northern Colombia: Ecological implications. *Rev Bras Cienc*, 46(e0210132), 1–15. <https://doi.org/https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20210132>
- Chozin, M. A., Nuryana, F. I., Guntoro, D., Sumiahadi, A., Badriyah, R. N., & Wibowo, A. P. (2018). Potency of *Arachis pintoi* Krap. & Greg. as biomulch in the tropical upland agriculture. *Sustainable Agriculture Transformation for The Nation's Welfare of Indonesia and Malaysia*.
- Creamer, R. E., Barel, J. M., Bongiorno, G., & Zwetsloot, M. J. (2022). The life of soils: Integrating the who and how of multifunctionality. *Soil Biology and Biochemistry*, 166, 108561. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108561>
- Dacal, M., Delgado-Baquerizo, M., Barquero, J., Berhe, A. A., Gallardo, A., Maestre, F. T., & García-Palacios, P. (2021). Temperature increases soil respiration across ecosystem types and soil development, but soil properties determine the magnitude of this effect. *Ecosystems*, 25, 184–198. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10021-021-00648-2>
- de Sousa, I. B., de Oliveira Garcia, R., Valls, J. F. M., Pacheco, G., & Mansur, E. (2024). *Arachis pintoi* Krapov. & WC Greg.—A multifunctional legume. *Grass and Forage Science*, 79(3), 343–352.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. (2023). *Statistik Perkebunan Jilid I 2022-2024 (I)*. Direktorat Jenderal Perkebunan.
- Dissanayaka, D. M. S. S., Udumann, S. S., Nuwarapaksha, T. D., & Atapattu, A. J. (2024). Harnessing the potential of *Mucuna* cover cropping: A comprehensive review of its agronomic and environmental benefits. *Circular Agricultural Systems*, 1–10.
- Elfiati, D., & Susilowati, A. (2019). Microbes population and soil respiration under the kemenyan (*Styrax* spp.) stand rhizosphere. In D. V. Wellia, Muldarisnur, L. Yulianti, P. Santoso, Syafrizayanti, & Nurul Pratiwi (Eds.), *The International Conference on Basic Science and Its Application (ICBSA) 2018* (Vol. 2019, pp. 75–84). KnE Publishing. <https://doi.org/10.18502/keg.v1i2.4433>
- Farrasati, R., Pradiko, I., Rahutomo, S., Sutarta, E. S., Santoso, H., & Hidayat, F. (2019). C-organik tanah di perkebunan kelapa sawit Sumatera Utara: Satus dan hubungan dengan beberapa sifat kimia tanah. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 43(2), 157–165.
- Golicz, K., Cheak, S. C., Jacobs, S., Große-Stoltenberg, A., Safaei, M., Bellingrath-Kimura, S., Breuer, L., & Wartenberg, A. (2024). The older, the better: a comprehensive survey of soil organic carbon under commercial oil palm plantations. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197(1). <https://doi.org/10.1007/s10661-024-13540-y>

- Hopwood, J., Frischie, S., May, E., Lee-mäder, E., & Hopwood, J. (2021). *Farming with Soil Life and Soil Health on Farms*. The Sustainable Agriculture Research and Education (SARE) Program.
- Li, X., Feng, G., Tewolde, H., Adeli, A., & Jenkins, J. N. (2024). Critical soil organic carbon for improving available water content of silt loam soils. *Soil Use and Management*, 40(4). <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/sum.13144>
- Liu, Y., Zhang, J., Bader, M. K., & Leuzinger, S. (2024). Soil type and temperature determine soil respiration seasonal dynamics in dairy grassland. *Soil Ecology Letters*, 6(4), 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s42832-024-0250-6> Soil
- Mardika, A. G., & Kartadie, R. (2019). Mengatur kelembaban tanah menggunakan sensor kelembaban tanah yl-69 berbasis arduino pada media tanam pohon gaharu. *JoEICT Journal of Education And ICT*, 3(2), 130-140.
- Mouridi, Z. El, Ziri, R., Douaik, A., Bennani, S., Lembaid, I., Bouharou, L., Brhadda, N., & Moussadek, R. (2023). *Comparison between Walkley-Black and loss on ignition methods for organic matter estimation in different moroccan soils*. 24(4), 253–259.
- Mulyadi, T., Nurcholis, M., & Partoyo, P. (2021). Beberapa sifat kimia tanah sawah atas penggunaan pupuk organik dengan kurun waktu berbeda di Sayegan, Sleman. *JURNAL TANAH DAN AIR (Soil and Water Journal)*, 17(2), 74. <https://doi.org/10.31315/jta.v17i2.4237>
- NRCS-USDA. (2014). *Soil Respiration: Soil Health-Guides for Educators* (Issue May).
- Pane, K. N., Walida, H., Saragih, S. H. Y., & Dalimunthe, B. A. (2023). Analisis karakteristik sifat biologi tanah ultisol setelah di inkubasi dengan kompos limbah buah dan sayuran. *Jurnal Al Ulum LPPM Universitas Al Washliyah Medan*, 11(2), 85–90. <https://doi.org/10.47662/alulum.v11i2.466>
- Pradiko, I., Farrasati, R., Rahutomo, S., Ginting, E. N., Candra, D. A. A., Krissetya, Y. A., & Mahendra, Y. S. (2020). Pengaruh iklim terhadap dinamika kelembaban tanah di piringan pohon tanaman kelapa sawit. *Warta PPKS*, 25(1), 39–51.
- Raich, J. W., & Tufekciogul, A. (2000). Vegetation and soil respiration: Correlations and controls. *Biogeochemistry*, 48, 71–90. <https://doi.org/https://doi.org/10.1023/A:1006112000616>
- Sakiah, Ginting, E. N., Wahab, R., Wahyudi, E., Tambunan, A. G., & Noviana, G. (2025). Soil health under cover crops *Mucuna bracteata* and sweet potato in oil palm intercropping systems. *Malaysian Journal of Soil Science*, 29, 393–402.
- Sakiah, S., Febrianto, E. B., Sudrajat, A., & Siregar, A. K. (2021). Pemetaan iklim tanaman kelapa sawit di Kecamatan Bintang Bayu, Kabupaten Serdang Bedagai, Provinsi Sumatera Utara. *Agro Industri Perkebunan*, 9(1), 15–22.
- Sakiah, S., Ningsih, T., & Pratomo, B. (2024a). Bank Pupuk Organik: Pengelolaan limbah ternak, dapur dan pertanian sebagai implementasi ekonomi sirkular di Desa Kandangan. *Jurnal Dinamika Pengabdian*, 10(1), 113–124.
- Sakiah, S., Sembiring, M., & Sari, N. (2017). Physical and chemical characteristics of soil on oil palm plantation with legume cover crops *Mucuna bracteata*. *Agro Estate Journal*, 1(1), 34–42.
- Sakiah, S., Setiawan, A., Sukariawan, A., Dibisono, M. Y., Nasution, A. P., Harahap, M. S., Nurhayati, E. S., Hanali, A., Kurniawan, D., & Nasution, T. R. (2024b). Pemanfaatan bahan

alami sebagai bahan baku pupuk dan pestisida guna meminimalisir penggunaan bahan kimia. *Dedikasi Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(2), 62–71.

Sarkar, S., Kumar, R., Kumar, A., & Kumar, U. (2022). Role of Soil Microbes to Assess Soil Health. In *Structure and Functions of Pedosphere* (Issue June, pp. 229–262). Springer, Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-8770-9>

Satriawan, H., Fuady, Z., & Fitri, R. (2021). *Soil erosion control in immature oil palm plantation*. <https://doi.org/10.24425/jwld.2021.137095>. Abstract

Seitz, V. A., Mcgovern, B. B., Borton, M. A., Chaparro, J. M., Schipanski, M. E., Prenni, J. E., & Wrighton, K. C. (2024). Cover crop root exudates impact soil microbiome functional trajectories in agricultural soils. *Microbiome*, 12(183), 1–37. <https://doi.org/https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3956430/v1>

Syarovy, M., Ginting, E. N., & Santoso, H. (2015). Respon morfologi dan fisiologi tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) terhadap cekaman air. *Warta Pusat Penelitian Kelapa Sawit*, 20(20), 1–11.

Tiwari, S., & Meena, A. (2025). Soil respiration and their influencing factors: A review. *Environmental Science Archives*, IV(2), 494–503. <https://doi.org/10.5281/zenodo.16308690>

Vebriyanti, E., Arief, I. I., Salundik, & Dewi, P. (2022). Karakteristik mikroorganisme, pH dan unsur hara urin sapi perah di daerah Bogor, Jawa Barat. *Jurnal Agripet*, 22(2), 133–140.

Wawan, Dini, I. R., & Hapsoh. (2019). The effect of legume cover crop *Mucuna bracteata* on soil physical properties, runoff and erosion in three slopes of immature oil palm plantation. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 6–12. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/250/1/012021>

Yahya, S., Ariyanti, M., & Asbur, Y. (2022). Perspektif baru: Manajemen vegetasi bawah tegakan pada budidaya kelapa sawit berkelanjutan. *J. Agron. Indonesia*, 50(3), 343–356.

