

ANALISIS KANDUNGAN BAHAN ORGANIK TANAH DI DAERAH ALIRAN SUNGAI WANGGU

Analysis of Soil Organic Matter Content in the Wanggu Watershed

Davik¹

Program Studi Ilmu Lingkungan Fakultas Kehutanan dan Ilmu Lingkungan UHO¹
Davik202406@uho.ac.id¹

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kandungan bahan organik tanah pada berbagai penggunaan lahan dan kelas kemiringan lereng di Daerah Aliran Sungai (DAS) Wanggu, Provinsi Sulawesi Tenggara. Penelitian dilakukan pada tahun 2018 menggunakan metode survei lapangan dengan teknik purposive sampling berdasarkan kombinasi penggunaan lahan dan kemiringan lereng. Penggunaan lahan yang diamati meliputi hutan, semak belukar, agroforestry, pertanian, dan pemukiman dengan kelas kemiringan lereng 0–8%, 8–15%, 15–25%, dan 25–40%. Analisis kandungan bahan organik tanah dilakukan menggunakan metode Walkley and Black. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan bahan organik tanah di DAS Wanggu berkisar antara 0,01% hingga 0,83% dan secara umum tergolong sangat rendah. Kandungan bahan organik tertinggi ditemukan pada penggunaan lahan hutan dengan kemiringan lereng 8–15% sebesar 0,83%, sedangkan nilai terendah terdapat pada penggunaan lahan pemukiman dengan kemiringan lereng 8–15% sebesar 0,01%. Penggunaan lahan hutan dan agroforestry memiliki kandungan bahan organik lebih tinggi dibandingkan pertanian dan pemukiman karena adanya vegetasi penutup yang mampu menyumbang bahan organik ke dalam tanah. Selain itu, peningkatan kemiringan lereng cenderung menurunkan kandungan bahan organik akibat meningkatnya potensi erosi. Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan lahan berbasis konservasi untuk meningkatkan kualitas tanah di DAS Wanggu.

Kata Kunci: *Bahan Organik Tanah, Penggunaan Lahan, Kemiringan Lereng, DAS Wanggu*

Abstract

This study aimed to analyze soil organic matter content under different land uses and slope classes in the Wanggu Watershed, Southeast Sulawesi Province. The research was conducted in 2018 using a field survey method with purposive sampling based on the combination of land use and slope classes. The observed land uses included forest, shrubland, agroforestry, agriculture, and settlement areas with slope classes of 0–8%, 8–15%, 15–25%, and 25–40%. Soil organic matter analysis was carried out using the Walkley and Black method. The results showed that soil organic matter content in the Wanggu

Watershed ranged from 0.01% to 0.83% and was generally classified as very low. The highest soil organic matter content was found in forest land use with a slope class of 8–15% at 0.83%, while the lowest value was found in settlement land use with a slope class of 8–15% at 0.01%. Forest and agroforestry land uses had higher soil organic matter content compared to agricultural and settlement areas due to the presence of vegetation cover contributing organic inputs to the soil. In addition, increasing slope steepness tended to reduce soil organic matter content due to higher erosion potential. Therefore, conservation-based land management is needed to improve soil quality in the Wanggu Watershed.

Keywords: *Soil Organic Matter, Land Use, Slope Gradient, Wanggu Watershed*

PENDAHULUAN

Bahan organik tanah merupakan salah satu indikator penting dalam menentukan kualitas dan kesuburan tanah karena berperan dalam memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Kandungan bahan organik tanah memengaruhi kemampuan tanah dalam menyimpan air, menyediakan unsur hara, meningkatkan agregasi tanah, serta mendukung aktivitas mikroorganisme tanah (Brady & Weil, 2017). Pada wilayah daerah aliran sungai (DAS), bahan organik tanah memiliki fungsi penting dalam menjaga stabilitas hidrologi dan mengurangi risiko degradasi lahan. Penurunan kandungan bahan organik tanah dapat menyebabkan meningkatnya limpasan permukaan, erosi, dan sedimentasi yang berdampak terhadap penurunan kualitas lingkungan DAS (Lal, 2020). Oleh karena itu, analisis kandungan bahan organik tanah menjadi penting dalam mendukung pengelolaan lahan dan konservasi sumber daya alam secara berkelanjutan (Minasny et al., 2017).

Daerah Aliran Sungai Wanggu merupakan salah satu DAS yang mengalami tekanan penggunaan lahan akibat perkembangan aktivitas pertanian, permukiman, dan perubahan tutupan lahan. Perubahan penggunaan lahan tersebut berpotensi memengaruhi kondisi kesuburan tanah, khususnya kandungan bahan organik tanah yang tersebar secara berbeda pada setiap wilayah DAS (Asdak, 2023). Aktivitas pembukaan lahan dan pengelolaan tanah yang kurang tepat dapat mempercepat penurunan bahan organik tanah sehingga meningkatkan kerentanan terhadap degradasi lahan dan erosi (Borrelli et al., 2021). Selain itu, variasi kondisi topografi, vegetasi, dan sistem penggunaan lahan di DAS Wanggu turut memengaruhi distribusi kandungan bahan organik tanah (Wiesmeier et al., 2019). Kondisi tersebut menunjukkan perlunya penelitian terkait kandungan bahan organik tanah untuk mengetahui kondisi kualitas tanah pada wilayah DAS Wanggu.

Analisis kandungan bahan organik tanah di DAS Wanggu penting dilakukan sebagai dasar dalam pengelolaan DAS yang berkelanjutan dan upaya konservasi tanah. Informasi mengenai kandungan bahan organik tanah dapat digunakan untuk menentukan tingkat kesuburan tanah, mengevaluasi kondisi lahan, serta

mendukung perencanaan pengelolaan lahan yang lebih tepat (Stockmann et al., 2015). Selain itu, bahan organik tanah juga berperan penting dalam mitigasi perubahan iklim melalui penyimpanan karbon di dalam tanah (FAO, 2022). Dengan mengetahui kondisi kandungan bahan organik tanah di DAS Wanggu, maka dapat diperoleh informasi ilmiah yang berguna dalam mendukung pengelolaan lingkungan dan pemanfaatan lahan secara optimal dan berkelanjutan (Lehmann & Kleber, 2015).

METODE PENELITIAN

1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada tahun 2018 di Daerah Aliran Sungai (DAS) Wanggu yang terletak di Provinsi Sulawesi Tenggara.

2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi Global Positioning System (GPS) untuk menentukan titik koordinat pengambilan sampel, bor tanah dan cangkul untuk mengambil sampel tanah, kantong sampel dan label untuk penyimpanan sampel tanah, kamera untuk dokumentasi lapangan, serta alat tulis untuk pencatatan data. Selain itu, digunakan perangkat komputer yang dilengkapi perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk pengolahan data spasial dan pembuatan peta penelitian, oven, timbangan analitik, erlenmeyer 500 ml, pipet tetes, pipet ukur, buret, gelas ukur, labu ukur, spatula, shaker atau alat pengocok, serta peralatan titrasi lainnya. Bahan yang digunakan terdiri atas sampel tanah, larutan kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) 1 N, asam sulfat (H_2SO_4) 96%, asam fosfat (H_3PO_4) 85%, natrium fluorida (NaF), indikator diphenilamine, air suling, dan larutan baku H_2SO_4 untuk proses titrasi.

3. Rancangan Penelitian dan Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan metode survei lapangan dengan pendekatan purposive sampling berdasarkan kombinasi penggunaan lahan dan kelas kemiringan lereng di Daerah Aliran Sungai (DAS) Wanggu, Provinsi Sulawesi Tenggara. Penentuan titik sampel dilakukan melalui overlay peta penggunaan lahan dan peta kemiringan lereng menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) sehingga diperoleh unit pengamatan yang mewakili kondisi wilayah penelitian. Penggunaan lahan yang diamati meliputi hutan, semak belukar, agroforestry, pertanian, dan pemukiman, sedangkan kelas kemiringan lereng terdiri atas 0–8%, 8–15%, 15–25%, dan 25–40%. Kombinasi kedua parameter tersebut digunakan sebagai dasar penentuan lokasi pengambilan sampel tanah untuk menganalisis kandungan bahan organik tanah pada setiap kondisi lahan yang berbeda.

Pengambilan sampel tanah dilakukan pada setiap kombinasi penggunaan lahan dan kelas kemiringan lereng yang telah ditentukan. Sampel tanah diambil secara komposit pada titik pengamatan untuk mewakili kondisi masing-masing

unit lahan. Selanjutnya, sampel tanah dianalisis di laboratorium untuk mengetahui kandungan bahan organik tanah menggunakan metode Walkley and Black. Data hasil analisis kemudian diolah dan dibandingkan berdasarkan variasi penggunaan lahan dan kemiringan lereng untuk mengetahui pola distribusi kandungan bahan organik tanah di DAS Wanggu.

4. Analisis Data

Pengolahan dan analisis data kandungan bahan organik tanah dilakukan berdasarkan hasil analisis laboratorium menggunakan metode Walkley and Black. Data hasil titrasi digunakan untuk menghitung kadar karbon organik tanah (C-organik), kemudian dikonversi menjadi kandungan bahan organik tanah. Analisis dilakukan pada setiap sampel tanah yang mewakili kombinasi penggunaan lahan dan kelas kemiringan lereng di Daerah Aliran Sungai (DAS) Wanggu. Nilai kandungan bahan organik tanah selanjutnya dianalisis secara deskriptif untuk mengetahui perbedaan kandungan bahan organik tanah pada masing-masing kondisi lahan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Penelitian

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan bahan organik tanah pada berbagai penggunaan lahan dan kelas kemiringan lereng di Daerah Aliran Sungai (DAS) Wanggu tergolong sangat rendah. Nilai bahan organik tanah berkisar antara 0,01% hingga 0,83%. Kandungan bahan organik tertinggi ditemukan pada penggunaan lahan hutan dengan kemiringan lereng 8–15% sebesar 0,83%, sedangkan nilai terendah terdapat pada penggunaan lahan pemukiman dengan kemiringan 8–15% sebesar 0,01%. Secara umum, penggunaan lahan hutan memiliki kandungan bahan organik lebih tinggi dibandingkan penggunaan lahan lainnya, sedangkan lahan pemukiman menunjukkan nilai paling rendah. Pada penggunaan lahan semak belukar dan agroforestry, kandungan bahan organik tanah cenderung berada pada kisaran 0,30%–0,49%, sedangkan pada lahan pertanian berkisar antara 0,19%–0,43%. Rendahnya kandungan bahan organik tanah diduga dipengaruhi oleh aktivitas penggunaan lahan, rendahnya input serasah organik, serta tingginya proses erosi pada beberapa kelas kemiringan lereng di DAS Wanggu. Hasil ini kandungan bahan organik tanah disajikan sesuai **Tabel 1**.

Tabel 1. Kandungan Bahan Organik Tanah DAS Wanggu

Penggunaan Lahan	Kemiringan	Bahan Organik (%)	Kriteria
Hutan	0-8 %	0.57	Sangat Rendah
Semak belukar	0-8 %	0.3	Sangat Rendah
Agroforestry	0-8 %	0.44	Sangat Rendah
Pertanian	0-8 %	0.32	Sangat Rendah

Pemukiman	0-8 %	0.08	Sangat Rendah
Hutan	8-15%	0.83	Sangat Rendah
Semak belukar	8-15%	0.39	Sangat Rendah
Agroforestry	8-15%	0.48	Sangat Rendah
Pertanian	8-15%	0.41	Sangat Rendah
Pemukiman	8-15%	0.01	Sangat Rendah
Hutan	15-25%	0.61	Sangat Rendah
Semak belukar	15-25%	0.49	Sangat Rendah
Agroforestry	15-25%	0.48	Sangat Rendah
Pertanian	15-25%	0.19	Sangat Rendah
Pemukiman	15-25%	0.12	Sangat Rendah
Hutan	25-40%	0.61	Sangat Rendah
Semak belukar	25-40%	0.48	Sangat Rendah
Agroforestry	25-40%	0.44	Sangat Rendah
Pertanian	25-40%	0.43	Sangat Rendah
Pemukiman	25-40%	0.16	Sangat Rendah

2. Pembahasan

a. Pengaruh Penggunaan Lahan terhadap Kandungan Bahan Organik Tanah

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan lahan memberikan pengaruh terhadap kandungan bahan organik tanah di DAS Wanggu. Penggunaan lahan hutan memiliki kandungan bahan organik tertinggi dibandingkan penggunaan lahan lainnya, yaitu berkisar antara 0,57%–0,83%. Tingginya kandungan bahan organik pada lahan hutan dipengaruhi oleh banyaknya masukan serasah daun, ranting, dan sisa vegetasi yang mengalami proses dekomposisi secara alami sehingga meningkatkan akumulasi bahan organik tanah. Sebaliknya, penggunaan lahan pemukiman menunjukkan kandungan bahan organik paling rendah, yaitu berkisar antara 0,01%–0,16%. Kondisi tersebut disebabkan oleh rendahnya penutupan vegetasi, minimnya masukan bahan organik, serta tingginya aktivitas manusia yang menyebabkan penurunan kualitas tanah. Penggunaan lahan agroforestry dan semak belukar memiliki kandungan bahan organik yang relatif lebih tinggi dibandingkan lahan pertanian dan pemukiman karena masih terdapat vegetasi penutup yang mampu menyumbang biomassa organik ke dalam tanah (Xiao et al., 2024; Yeasmin et al., 2020).

Pada lahan pertanian, kandungan bahan organik tanah tergolong sangat rendah dengan nilai berkisar antara 0,19%–0,43%. Rendahnya kandungan bahan organik tersebut diduga dipengaruhi oleh pengolahan tanah secara intensif, minimnya pengembalian residu tanaman, serta tingginya laju erosi pada lahan terbuka. Perubahan penggunaan lahan dari vegetasi alami menjadi

lahan budidaya dapat menyebabkan penurunan kandungan bahan organik tanah secara signifikan akibat berkurangnya cadangan karbon organik di dalam tanah (Wachu & Ibrahim, 2025). Selain itu, variasi kandungan bahan organik pada setiap penggunaan lahan menunjukkan bahwa vegetasi dan sistem pengelolaan lahan berperan penting dalam mempertahankan kualitas tanah. Lahan dengan vegetasi permanen cenderung memiliki kandungan bahan organik lebih tinggi dibandingkan lahan yang mengalami gangguan intensif oleh aktivitas manusia (Zhang et al., 2020; Oktaba et al., 2018). Oleh karena itu, penerapan sistem penggunaan lahan yang berkelanjutan seperti agroforestry dan konservasi vegetasi penutup tanah diperlukan untuk meningkatkan kandungan bahan organik tanah di DAS Wanggu.

b. Pengaruh Kemiringan Lereng terhadap Kandungan Bahan Organik Tanah

Kemiringan lereng memiliki pengaruh terhadap kandungan bahan organik tanah karena berkaitan erat dengan proses erosi, aliran permukaan, dan akumulasi bahan organik di permukaan tanah. Berdasarkan hasil penelitian, kandungan bahan organik tanah pada berbagai kelas kemiringan lereng di DAS Wanggu menunjukkan nilai yang tergolong sangat rendah, dengan kisaran 0,01%–0,83%. Pada kelas lereng 0–8% kandungan bahan organik relatif lebih tinggi dibandingkan beberapa lokasi pada lereng yang lebih curam, terutama pada penggunaan lahan hutan dengan nilai 0,57%. Sementara itu, pada kelas lereng 8–15% nilai tertinggi ditemukan pada penggunaan lahan hutan sebesar 0,83%. Kondisi ini menunjukkan bahwa vegetasi penutup lahan masih mampu menyumbangkan serasah organik yang cukup meskipun berada pada lereng agak miring. Menurut Lal (2020), kandungan bahan organik tanah cenderung menurun pada lereng yang lebih curam akibat tingginya laju erosi yang mengangkut lapisan tanah atas (topsoil) yang kaya bahan organik. Selain itu, proses limpasan permukaan pada lereng curam menyebabkan berkurangnya akumulasi bahan organik di permukaan tanah (Borrelli et al., 2021).

Pada kelas kemiringan 15–25% dan 25–40%, kandungan bahan organik tanah umumnya tetap berada pada kategori sangat rendah, terutama pada penggunaan lahan pertanian dan pemukiman. Nilai bahan organik terendah ditemukan pada penggunaan lahan pemukiman dengan kemiringan 8–15% sebesar 0,01%, sedangkan pada lahan pertanian berkisar antara 0,19%–0,43%. Rendahnya kandungan bahan organik pada lahan pertanian dan pemukiman diduga disebabkan oleh minimnya vegetasi penutup, rendahnya input serasah organik, serta tingginya gangguan aktivitas manusia terhadap tanah. Menurut Wiesmeier et al. (2019), perubahan penggunaan lahan dan pengolahan tanah intensif dapat mempercepat dekomposisi bahan organik sehingga menurunkan kandungan karbon organik tanah. Selain itu, Brady dan Weil (2017)

menyatakan bahwa lereng yang curam meningkatkan risiko kehilangan bahan organik akibat erosi sehingga kualitas tanah menjadi lebih rendah. Dengan demikian, kemiringan lereng berpengaruh terhadap distribusi bahan organik tanah, terutama ketika dikombinasikan dengan perbedaan penggunaan lahan dan tingkat penutupan vegetasi.

c. Interaksi Penggunaan Lahan dan Kemiringan Lereng

Interaksi antara penggunaan lahan dan kemiringan lereng menunjukkan adanya variasi kandungan bahan organik tanah pada setiap kondisi lahan di DAS Wanggu. Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan lahan hutan memiliki kandungan bahan organik tanah tertinggi pada hampir seluruh kelas kemiringan lereng dibandingkan penggunaan lahan lainnya. Nilai bahan organik tanah pada lahan hutan berkisar antara 0,57%–0,83%, sedangkan penggunaan lahan pemukiman memiliki nilai terendah yaitu 0,01%–0,16%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa vegetasi alami pada kawasan hutan mampu menyediakan input serasah organik yang lebih tinggi sehingga meningkatkan kandungan bahan organik tanah (Lal, 2020). Sebaliknya, lahan pemukiman dan pertanian cenderung memiliki kandungan bahan organik lebih rendah akibat minimnya penutupan vegetasi, tingginya gangguan aktivitas manusia, serta rendahnya akumulasi bahan organik di permukaan tanah (Minasny et al., 2017). Selain itu, sistem agroforestry dan semak belukar menunjukkan kandungan bahan organik yang relatif lebih baik dibandingkan lahan pertanian dan pemukiman karena masih adanya kontribusi vegetasi penutup tanah terhadap penambahan bahan organik tanah (Lehmann & Kleber, 2015).

Berdasarkan kelas kemiringan lereng, kandungan bahan organik tanah cenderung lebih tinggi pada lereng 8–15% dan menurun pada beberapa lokasi dengan lereng lebih curam. Kondisi ini dipengaruhi oleh proses erosi dan aliran permukaan yang lebih besar pada daerah berlereng curam sehingga lapisan atas tanah yang kaya bahan organik lebih mudah terangkut (Borrelli et al., 2021). Namun demikian, pada penggunaan lahan hutan kandungan bahan organik tetap relatif lebih tinggi meskipun berada pada lereng curam karena adanya perlindungan vegetasi terhadap tanah. Seluruh lokasi penelitian menunjukkan kriteria kandungan bahan organik sangat rendah, yang mengindikasikan bahwa kondisi tanah di DAS Wanggu mengalami penurunan kualitas bahan organik tanah. Rendahnya kandungan bahan organik tersebut diduga dipengaruhi oleh perubahan penggunaan lahan, pengolahan tanah intensif, dan rendahnya pengembalian biomassa organik ke dalam tanah (Asdak, 2023). Oleh karena itu, pengelolaan lahan berbasis konservasi seperti penambahan bahan organik, penanaman vegetasi penutup tanah, dan

penerapan sistem agroforestry diperlukan untuk meningkatkan kualitas tanah di DAS Wanggu.

d. Kondisi Kandungan Bahan Organik Tanah di DAS Wanggu

Hasil analisis menunjukkan bahwa kandungan bahan organik tanah di Daerah Aliran Sungai (DAS) Wanggu berkisar antara 0,01% hingga 0,83% dan secara umum termasuk dalam kategori sangat rendah. Nilai kandungan bahan organik tertinggi ditemukan pada penggunaan lahan hutan dengan kemiringan lereng 8–15% sebesar 0,83%, sedangkan nilai terendah terdapat pada penggunaan lahan pemukiman dengan kemiringan lereng 8–15% sebesar 0,01%. Tingginya kandungan bahan organik pada lahan hutan disebabkan oleh banyaknya akumulasi serasah vegetasi dan minimnya gangguan terhadap permukaan tanah sehingga proses dekomposisi bahan organik berlangsung secara alami (Lal, 2020). Sebaliknya, rendahnya kandungan bahan organik pada lahan pemukiman dipengaruhi oleh rendahnya tutupan vegetasi dan tingginya aktivitas manusia yang menyebabkan berkurangnya input bahan organik ke dalam tanah (Brady & Weil, 2017). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penggunaan lahan memiliki pengaruh penting terhadap kandungan bahan organik tanah di DAS Wanggu (Asdak, 2023).

Berdasarkan kelas kemiringan lereng, kandungan bahan organik tanah menunjukkan variasi yang relatif kecil, namun pada beberapa penggunaan lahan terjadi penurunan kandungan bahan organik seiring meningkatnya kemiringan lereng. Kondisi ini diduga dipengaruhi oleh tingginya potensi erosi pada lahan berlereng yang menyebabkan lapisan atas tanah yang kaya bahan organik mudah terangkut oleh aliran permukaan (Borrelli et al., 2021). Penggunaan lahan agroforestry dan semak belukar memiliki kandungan bahan organik yang relatif lebih tinggi dibandingkan pertanian dan pemukiman karena adanya vegetasi penutup yang mampu meningkatkan suplai serasah dan menjaga kelembapan tanah (Minasny et al., 2017). Secara umum, rendahnya kandungan bahan organik tanah di DAS Wanggu menunjukkan adanya indikasi degradasi kualitas tanah yang dapat memengaruhi produktivitas lahan dan stabilitas hidrologi DAS. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengelolaan lahan yang berkelanjutan melalui konservasi tanah, peningkatan vegetasi penutup, dan penambahan bahan organik untuk memperbaiki kualitas tanah di wilayah DAS Wanggu (Lehmann & Kleber, 2015).

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, kandungan bahan organik tanah di Daerah Aliran Sungai (DAS) Wanggu tergolong sangat rendah dengan kisaran nilai 0,01%–0,83%. Penggunaan lahan dan kemiringan lereng berpengaruh terhadap variasi

kandungan bahan organik tanah, dimana lahan hutan memiliki kandungan bahan organik tertinggi dibandingkan penggunaan lahan lainnya, sedangkan lahan pemukiman dan pertanian menunjukkan kandungan bahan organik terendah. Rendahnya kandungan bahan organik tanah diduga dipengaruhi oleh perubahan penggunaan lahan, rendahnya tutupan vegetasi, tingginya aktivitas manusia, serta potensi erosi pada daerah berlereng. Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan lahan yang berkelanjutan melalui konservasi tanah, peningkatan vegetasi penutup, dan penambahan bahan organik untuk memperbaiki kualitas tanah di DAS Wanggu.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, C. (2023). Hidrologi dan pengelolaan daerah aliran sungai (Edisi revisi). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Fleischer, L. R., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C., ... & Panagos, P. (2021). An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature Communications*, 12(1), 1–13.
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J. E., Alewell, C., & Ballabio, C. (2021). Land use and climate change impacts on global soil erosion by water. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(12), 1–9.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2017). *The nature and properties of soils* (15th ed.). New York, NY: Pearson.
- Lal, R. (2020). Soil organic matter and water retention. *Agronomy Journal*, 112(5), 3265–3277.
- Lehmann, J., & Kleber, M. (2015). The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, 528(7580), 60–68.
- Minasny, B., Malone, B. P., McBratney, A. B., Angers, D. A., Arrouays, D., Chambers, A., ... & Winowiecki, L. (2017). Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, 292, 59–86.
- Oktaba, L., Odrobińska, D., & Uzarowicz, Ł. (2018). The impact of different land uses in urban area on humus quality. *Journal of Soils and Sediments*, 18(8), 2823–2832.
- Stockmann, U., Adams, M. A., Crawford, J. W., Field, D. J., Henakaarchchi, N., Jenkins, M., ... & Zimmermann, M. (2015). The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 164, 80–99.
- Wachu, C. M., & Ibrahim, A. J. (2025). Assessment of land use and slope influence on soil organic carbon stocks and soil properties in Southern Ethiopia. *Frontiers in Agronomy*, 7, 1536935.
- Wiesmeier, M., Urbanski, L., Hobbey, E., Lang, B., von Lützow, M., Marin-Spiotta, E., & Kögel-Knabner, I. (2019). Soil organic carbon storage as a key function of soils. *Soil*, 5(2), 111–123.
- Xiao, C., Gong, Y., Pei, X., Chen, H., Li, S., Lu, C., ... & Yan, X. (2024). Impacts of land-use change from primary forest to farmland on the storage of soil organic carbon. *Applied Sciences*, 14(11), 4736.

- Yeasmin, S., Singh, B., Smernik, R. J., & Johnston, C. T. (2020). Effect of land use on organic matter composition in density fractions of contrasting soils: A comparative study using ¹³C NMR and DRIFT spectroscopy. *Science of the Total Environment*, 726, 138395.
- Young, A. (2019). *Land resources: Now and for the future*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Zhang, Y., Wang, S., Huang, X., & Li, J. (2020). Variability and determinants of soil organic matter under different land uses and soil types in eastern China. *Soil and Tillage Research*, 198, 104544.