

Perbaikan Sistem Budidaya Melon Menggunakan Amelioran (Arang Sekam, Ampas Kopi, dan Ampas Teh)

Improvement of Melon Cultivation System Using Ameliorant (Rice Husk Char, Coffee Grounds, and Tea Waste)

Christian Ardianto Wibowo^{1*}, dan Herdhata Agusta²

¹Program Studi Agronomi dan Hortikultura Departemen Agronomi dan Hortikultura,
Institut Pertanian Bogor (IPB University)

²Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor (IPB University),
Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

*Penulis Korespondensi: christianawibowo10@gmail.com

Disetujui: 6 Juli 2025 / Published Online Januari 2026

ABSTRAK

Penurunan kesuburan tanah akibat degradasi lahan dan penggunaan pupuk kimia yang berlebihan menjadi tantangan utama dalam peningkatan produktivitas pertanian di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menguji amelioran organik yang terbuat dari arang sekam, ampas kopi, dan ampas teh (2:1:1) sebagai solusi untuk memperbaiki kualitas tanah dan meningkatkan pertumbuhan tanaman melon. Metode penelitian menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan empat perlakuan: tanah kontrol (A1), tanah dengan arang sekam (A2), tanah dengan pupuk kandang (A3), dan tanah dengan amelioran (A4). Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan amelioran (A4) secara signifikan lebih unggul dibandingkan perlakuan lainnya. Amelioran (A4) mampu meningkatkan kandungan C-Organik tanah hingga 3.18%, menaikkan kapasitas tukar kation (KTK) menjadi 20.50 Cmol kg⁻¹, dan menetralkan pH tanah ke level 6.20. Perbaikan sifat fisik dan kimia tanah ini berdampak positif pada pertumbuhan vegetatif tanaman melon, di mana perlakuan amelioran menghasilkan tinggi tanaman (48.6 cm), jumlah daun (13.6 helai), dan panjang akar (56.8 cm) tertinggi. Kesimpulannya, formula amelioran dari arang sekam, ampas kopi, dan ampas teh menunjukkan efek sinergis yang efektif dalam memperbaiki kesehatan tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal, serta berpotensi mengurangi ketergantungan pada pupuk anorganik.

Kata kunci: pengelolaan limbah, pertumbuhan, sifat fisik tanah, sifat kimia tanah

ABSTRACT

Declining soil fertility due to land degradation and the excessive use of chemical fertilizers poses a major challenge to increasing agricultural productivity in Indonesia. This study aimed to develop and test an organic ameliorant made from rice husk char, coffee grounds, and tea waste (in a 2:1:1 ratio) as a solution to improve soil quality and enhance the growth of melon plants. The research method used a completely randomized design (CRD) with four treatments: control soil (A1), soil with rice husk char (A2), soil with manure (A3), and soil with the ameliorant (A4). The results showed that the ameliorant treatment (A4) was significantly superior to the other treatments. The ameliorant (A4) successfully increased soil Organic Carbon content to 3.18%, raised the cation exchange capacity (CEC) to 20.50 Cmol kg⁻¹, and neutralized the soil pH to a level of 6.20. This improvement in soil physical and chemical properties positively impacted the vegetative growth of melon plants, with the ameliorant treatment yielding the greatest plant height (48.6 cm), number of leaves (13.6), and root length (56.8 cm). In conclusion, the ameliorant formula derived from rice husk char, coffee grounds, and tea waste exhibits a synergistic effect, proving effective in improving soil health and supporting optimal plant growth, with the potential to reduce dependency on chemical fertilizers.

Keywords: growth, soil chemical properties, soil physical properties, waste management

PENDAHULUAN

Luas lahan pertanian di Indonesia terus mengalami penurunan mencapai 60.000 hektar per tahun akibat dari degradasi lahan (Widaningsing, 2019). Usaha untuk meningkatkan produktivitas pertanian juga menghadapi tantangan utama yaitu penurunan kesuburan tanah akibat penggunaan pupuk kimia secara berlebihan (Gao *et al.*, 2023). Penggunaan pupuk anorganik dalam jangka panjang dapat menyebabkan degradasi tanah, menurunkan kandungan bahan organik, dan menghambat aktivitas mikroorganisme tanah (Morra *et al.*, 2021). Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk mengembalikan kesuburan tanah secara berkelanjutan dengan mengembangkan pupuk organik berbasis bahan alami yang ramah lingkungan (Xu *et al.*, 2024).

Salah satu alternatif yang dapat digunakan adalah pembuatan amelioran organik yang berbahan dasar arang sekam, ampas kopi, dan ampas teh. Amelioran adalah bahan yang digunakan untuk memperbaiki sifat tanah agar lebih sesuai bagi pertumbuhan tanaman. Bahan-bahan ini memiliki potensi sebagai pembenah tanah yang dapat meningkatkan kandungan bahan organik, memperbaiki struktur tanah (Ngui *et al.*, 2024), serta mendukung pertumbuhan mikroorganisme tanah yang bermanfaat bagi tanaman (Hu *et al.*, 2022; Li *et al.*, 2023).

Arang sekam memiliki kandungan karbon tinggi yang dapat memperbaiki aerasi dan daya serap air dalam tanah (Homchat & Ramphueiphad, 2022), sehingga meningkatkan kualitas fisik tanah (Linam *et al.*, 2023). Ampas kopi kaya akan nitrogen (Ragauskaitė & Šlinkienė, 2022) dan senyawa organik yang dapat meningkatkan kesuburan tanah serta merangsang aktivitas mikroba tanah (Cervera-Mata *et al.*, 2020). Sementara itu, ampas teh mengandung unsur hara seperti kalium dan fosfor yang bermanfaat bagi pertumbuhan tanaman (Lin *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2022). Kombinasi ketiga bahan ini diharapkan mampu menciptakan pupuk organik yang efektif dalam meningkatkan kualitas tanah dan produktivitas pertanian secara berkelanjutan.

Penelitian dan pengembangan amelioran berbasis arang sekam, ampas kopi, dan ampas teh diharapkan dapat mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia serta meningkatkan kesuburan tanah secara alami. Pemanfaatan limbah pertanian dan industri juga mendukung prinsip pertanian berkelanjutan serta mengurangi dampak negatif terhadap pencemaran lingkungan. Selain itu budidaya dengan amelioran juga mampu mengubah sistem pertanian dari sumber emisi

menjadi sistem karbon negatif. Sistem ini mampu mengurangi dampak emisi Gas Rumah Kaca (GRK). Pengurangan ini terutama disumbang oleh penghindaran emisi metana dari TPA dan sekuestrasi karbon oleh *biochar*. Implementasi amelioran berbasis limbah tidak hanya memberikan manfaat ekologis, tetapi juga secara signifikan mengurangi risiko dampak lingkungan lanjutan seperti asidifikasi tanah dan eutrofikasi perairan dengan meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk dan retensi hara di dalam tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menguji amelioran organik yang terbuat dari arang sekam, ampas kopi, dan ampas teh (2:1:1) sebagai solusi untuk memperbaiki kualitas tanah dan meningkatkan pertumbuhan tanaman melon.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan dari bulan Maret hingga Juni 2025 di Kecamatan Dramaga, Kabupaten Bogor, serta Kebun Percobaan dan Laboratorium IPB University. Proses pembuatan produk dimulai dengan mengolah sekam padi menjadi arang, yang kemudian dikeringkan bersama ampas kopi dan teh. Semua bahan utama (arang sekam, ampas kopi, dan ampas teh) di oven pada suhu 80 °C selama tiga hari untuk sterilisasi, lalu dihaluskan menggunakan blender. Bahan-bahan tersebut kemudian dicampur dengan formulasi 40% arang sekam, 20% ampas kopi, 20% ampas teh, dan 10% tetes tebu (molase) sebagai perekat, serta ditambahkan 20 ml air. Campuran ini kemudian dicetak menjadi granul dan dikeringkan kembali pada suhu 30 °C selama satu hari.

Selanjutnya, dilakukan uji coba aplikasi amelioran pada tanaman melon menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) non-faktorial. Terdapat empat perlakuan yang diuji: tanah sebagai kontrol (A1), tanah dengan arang sekam (A2), tanah dengan pupuk kandang (A3), dan tanah dengan produk amelioran buatan (A4), masing-masing dengan lima kali ulangan. Parameter yang diamati meliputi sifat fisik dan kimia tanah (seperti *bulk density*, pH, dan kandungan hara) serta data pertumbuhan tanaman (tinggi, jumlah daun, dan bobot segar). Seluruh data yang terkumpul akan dianalisis menggunakan sidik ragam (ANOVA) pada taraf kepercayaan 95% dan dilanjutkan dengan uji LSD jika terdapat perbedaan yang nyata.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Fisik dan Kimia Tanah

Berdasarkan data hasil analisis sifat fisik dan kimia tanah yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil sifat fisik dan kimia tanah

No	Parameter	Perlakuan			
		Kontrol	Tanah + arang sekam	Tanah + pupuk kandang	Tanah + amelioran
1	C-organik (%)	1.78	2.88	2.60	3.18
2	NO ₃ ⁻ (ppm)	8.00	12.00	16.00	20.00
3	NH ₄ ⁺ (ppm)	12.00	18.00	22.00	30.00
4	P ₂ O ₅ (ppm)	25.60	38.50	44.70	65.10
5	K ₂ O (ppm)	98.50	164.20	192.60	258.10
6	pH	4.90	5.90	5.30	6.20
7	KTK (Cmol kg ⁻¹)	12.20	17.90	16.80	20.50
8	Bulk density (g cm ⁻³)	1.22	0.96	1.14	0.92
9	Particle density (g cm ⁻³)	2.65	2.51	2.61	2.46
10	Porositas (%)	54.00	61.80	56.30	62.60

Tabel 1 menunjukkan adanya perbedaan yang sangat nyata antar perlakuan setelah 4 minggu setelah tanam (MST). Perbedaan ini secara langsung merefleksikan pengaruh dari setiap jenis amelioran yang diberikan pada tanah, serta kemampuannya dalam mendukung pertumbuhan tanaman uji.

Perlakuan amelioran dan arang sekam menunjukkan penurunan *bulk density* yang paling signifikan, masing-masing menjadi 0.92 g cm⁻³ dan 0.96 g cm⁻³. Rendahnya *bulk density* ini disebabkan oleh bobot jenis arang sekam yang sangat ringan dan kemampuannya menciptakan ruang antar partikel tanah yang tinggi (Liu *et al.*, 2015). Akibatnya, porositas pada kedua perlakuan ini meningkat drastis menjadi 62.60% amelioran dan 61.80% arang sekam

Porositas yang tinggi ini sangat vital bagi tanaman melon karena menjamin aerasi yang baik bagi perakaran, memfasilitasi penetrasi akar, dan meningkatkan kapasitas menahan air (Ismail & El-Cossy, 2023). Perlakuan pupuk kandang juga menunjukkan perbaikan, namun tidak seefektif arang sekam. Hal ini mengindikasikan bahwa bahan organik dari pupuk kandang lebih berperan sebagai perekat agregat, sementara arang sekam lebih berperan sebagai agen penggembur (Fitriatin *et al.*, 2021).

Peningkatan pH dan kapasitas tukar kation (KTK) pada perlakuan amelioran menjadi yang paling unggul, mampu menaikkan pH tanah dari kondisi masam menjadi mendekati netral (6.20) dan meningkatkan KTK menjadi 20.50 cmol kg⁻¹. Ini adalah hasil sinergis dari komponen arang sekam yang bersifat basa dan memiliki permukaan luas, serta bahan organik dari ampas kopi dan teh yang saat terdekomposisi juga melepaskan situs-situs tukar kation (Masulili *et al.*, 2022; Ngui *et al.*, 2024). Peningkatan KTK merupakan faktor utama yang membedakan amelioran dari perlakuan

lainnya, karena menunjukkan kapasitas tanah untuk menampung nutrisi menjadi lebih besar (Doan *et al.*, 2015).

Bahan organik dalam amelioran tidak hanya berfungsi sebagai sumber hara, tetapi juga memperbaiki ketersediaan unsur hara dalam tanah (Hindersah *et al.*, 2022). Amelioran menunjukkan ketersediaan nitrogen tertinggi. Ini membuktikan bahwa KTK yang tinggi pada A4 mampu mengikat ion amonium (NH₄⁺) dari pupuk dan mineralisasi bahan organik, mencegahnya hilang (Kasongo *et al.*, 2011). Ketersediaan P pada amelioran (65.10 ppm) jauh melampaui perlakuan lainnya. Ini disebabkan oleh pH yang mendekati netral mengurangi fiksasi P oleh aluminium dan besi di tanah Latosol, dan asam-asam organik hasil dekomposisi ampas kopi dan teh membantu melarutkan P yang terikat (Lauricella *et al.*, 2021). Amelioran mampu menahan Kalium (258.10 ppm) jauh lebih banyak dibandingkan perlakuan lain. Pada perlakuan kontrol, meskipun dipupuk, sebagian besar Kalium kemungkinan hilang tercuci karena KTK tanah yang rendah tidak mampu mengikatnya (Maftu'ah *et al.*, 2023).

Semua perlakuan ameliorasi (arang sekam, pupuk kandang, dan amelioran) meningkatkan C-organik. Namun, amelioran menunjukkan nilai tertinggi (3.18%) karena tidak hanya mengandung karbon stabil dari arang sekam tetapi juga karbon yang lebih mudah terurai dari ampas kopi dan teh, yang penting untuk aktivitas mikroba tanah (Wang *et al.*, 2018). Secara keseluruhan, data dengan jelas menunjukkan superioritas perlakuan amelioran. Produk amelioran mampu memperbaiki struktur fisik dan sifat kimia. Peningkatan KTK inilah yang menjadi kunci utama, memungkinkan tanah pada perlakuan amelioran untuk menyimpan dan menyediakan nutrisi lebih efisien dibandingkan perlakuan lainnya (Hafez *et al.*, 2022; Liu *et al.*, 2025).

Pertumbuhan Melon

Pertumbuhan vegetatif, yang diukur melalui parameter tinggi tanaman dan jumlah daun, merupakan indikator visual utama untuk mengevaluasi respons tanaman terhadap perbaikan lingkungan perakaran dan ketersediaan nutrisi. Hasil pengamatan selama 4 minggu setelah tanam (MST) menunjukkan tren pertumbuhan yang konsisten dan semakin terdiferensiasi antar perlakuan seiring berjalannya waktu.

Pada dua minggu pertama, perbedaan tinggi tanaman dan jumlah daun antar perlakuan belum signifikan secara statistik (Tabel 2). Ini merupakan periode adaptasi di mana tanaman memfokuskan energinya untuk pengembangan sistem perakaran awal pasca pindah tanam (Ghorbani *et al.*, 2024). Meskipun demikian, sudah terlihat tren minor di mana perlakuan amelioran menunjukkan rata-rata pertumbuhan sedikit lebih tinggi, mengindikasikan struktur tanah yang lebih gembur akibat penggunaan amelioran organik, yang mampu meningkatkan aerasi dan memungkinkan akar tanaman berkembang lebih optimal (Xia *et al.*, 2024).

Memasuki minggu ketiga, perbedaan pertumbuhan menjadi sangat nyata dan signifikan secara statistik. Perlakuan pupuk kandang dan amelioran menunjukkan peningkatan pertumbuhan yang lebih cepat dibandingkan kontrol dan arang sekam. Hal ini menjelaskan bahwa setelah akar terbentuk, ketersediaan nutrisi yang melimpah dari bahan organik menjadi pendorong utama untuk elongasi batang dan pertumbuhan vertikal (Briat *et*

al., 2020). Sedangkan pada parameter jumlah daun, semua perlakuan ameliorasi (arang sekam, pupuk kandang, dan amelioran) secara signifikan lebih unggul daripada kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa, perbaikan pada tanah, baik perbaikan fisik dan pH oleh arang sekam maupun perbaikan nutrisi oleh pupuk kandang, dan amelioran, mampu merangsang produksi daun baru yang merupakan tempat fotosintesis tanaman (Macdonald *et al.*, 2020).

Perlakuan amelioran pada minggu ke-4 secara konsisten menempati posisi teratas pada kedua parameter, mencapai tinggi tanaman tertinggi (48.6 cm) dan jumlah daun terbanyak (13.6 helai) (Tabel 3). Ini adalah bukti nyata dari efek sinergis dari amelioran yang tidak hanya menyediakan pasokan nutrisi tetapi juga menciptakan struktur tanah, pH, dan KTK yang paling ideal berkat komponen arang sekamnya (Cahyani *et al.*, 2024). Lingkungan perakaran yang superior ini memungkinkan tanaman menyerap nutrisi yang melimpah (dari amelioran dan pupuk NPK) dengan efisiensi maksimal, sehingga mampu mengalokasikan energi untuk tumbuh tinggi dan sekaligus memperbanyak daun (Li *et al.*, 2019).

Analisis terhadap panjang akar, bobot segar tajuk, dan bobot segar akar memberikan gambaran holistik mengenai respons tanaman terhadap perlakuan, tidak hanya pada bagian atas tanaman (tajuk) tetapi juga pada bagian bawah (akar). Data pada Tabel 4 menunjukkan bagaimana perbaikan media tanam secara langsung memengaruhi arsitektur perakaran dan akumulasi biomassa total.

Tabel 2. Hasil pengamatan tinggi tanaman melon selama 4 MST

Perlakuan	Rataan tinggi tanaman (cm)			
	1 MST	2 MST	3 MST	4 MST
Kontrol	2.9	5.80	12.08 a	29.26 a
Tanah + arang sekam	3.7	7.40	14.08 a	36.78 ab
Tanah + pupuk kandang	3.5	7.34	19.14 b	43.90 b
Tanah + amelioran	4.2	7.68	19.34 b	48.60 b

Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berpengaruh nyata pada uji lanjut DMRT taraf 5%.

Tabel 3. Hasil pengamatan jumlah daun melon selama 4 MST

Perlakuan	Rata-rata jumlah daun (helai)			
	1 MST	2 MST	3 MST	4 MST
Kontrol	2.6	4.6	6.6 a	10.8 a
Tanah + arang sekam	2.6	4.8	7.6 b	13.6 b
Tanah + pupuk kandang	2.8	4.8	7.8 b	12.4 ab
Tanah + amelioran	2.8	4.8	8.0 b	13.6 b

Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berpengaruh nyata pada uji lanjut DMRT taraf 5%.

Tabel 4. Pengaruh amelioran terhadap perakaran dan bobot segar tajuk melon

Perlakuan	Panjang akar (cm)	Bobot segar tajuk (g)	Bobot segar akar (g)
Kontrol	31.77 a	47.34 a	1.94 a
Tanah + arang sekam	54.92 b	58.80 ab	3.42 b
Tanah + pupuk kandang	42.50 a	72.08 b	4.22 b
Tanah + amelioran	56.80 b	65.64 b	3.72 b

Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berpengaruh nyata pada uji lanjut DMRT taraf 5%.

Panjang akar secara jelas mengilustrasikan dampak perbaikan struktur fisik tanah. Perlakuan amelioran dan arang sekam menghasilkan akar yang secara signifikan lebih panjang (56.8 cm dan 54.92 cm) dibandingkan kontrol dan pupuk kandang (Tabel 4). Hal ini disebabkan oleh penurunan drastis *bulk density* dan peningkatan porositas tanah pada kedua perlakuan tersebut. Tanah yang lebih gembur dan tidak padat memberikan hambatan fisik yang jauh lebih kecil bagi akar untuk melakukan penetrasi dan eksplorasi, sehingga akar dapat tumbuh memanjang dengan leluasa untuk mencari air dan nutrisi (Prabawardani *et al.*, 2024). Sebaliknya, pada kontrol dan pupuk kandang, akar yang terbentuk lebih pendek (31.77 cm dan 42.5 cm).

Kondisi tanah yang lebih padat, terutama pada kontrol, membatasi kemampuan akar untuk berkembang, yang pada akhirnya juga membatasi volume tanah yang bisa dijangkau untuk penyerapan hara. Sementara itu, parameter bobot segar akar menunjukkan akumulasi biomassa pada akar. Perlakuan pupuk kandang menunjukkan bobot akar tertinggi (4.22 g), yang diikuti oleh amelioran (3.72 g) dan arang sekam (3.42 g). Ketiganya secara statistik lebih unggul dari A1 (1.94 g). Bobot akar yang tinggi pada pupuk kandang dapat didistribusikan pada ketersediaan nutrisi organik yang melimpah, yang merangsang pembentukan akar-akar serabut yang lebih tebal dan lebat, meskipun tidak terlalu panjang (Siti, 2020; Sheoran *et al.*, 2021).

Bobot segar tajuk merefleksikan hasil akhir dari seluruh proses pertumbuhan, termasuk efektivitas fotosintesis dan serapan hara (Baloyi *et al.*, 2023). Perlakuan pupuk kandang dan amelioran menghasilkan bobot tajuk tertinggi (72.08 g dan 65.64 g) dan secara statistik berbeda nyata dengan kontrol. Ini adalah hasil logis di mana ketersediaan nutrisi yang tinggi (baik dari pupuk kandang maupun sinergi amelioran) mampu mendukung pembentukan daun dan batang yang masif, sehingga akumulasi biomassa tajuk menjadi yang terbesar. Perlakuan arang sekam berada di posisi peralihan. Meskipun memiliki sistem perakaran yang panjang dan lingkungan tanah yang

sehat (pH ideal, aerasi baik), keterbatasan pasokan nutrisi dari arang sekam itu sendiri membuat akumulasi biomassa tajuknya tidak sebesar pupuk kandang dan amelioran. Kontrol, dengan akar yang pendek dan ketersediaan hara yang minim, secara konsisten menghasilkan biomassa tajuk yang paling rendah (47.34 g).

KESIMPULAN

Amelioran yang diformulasikan dari campuran arang sekam, ampas kopi, dan ampas teh (rasio 2:1:1) secara signifikan lebih unggul dalam memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah dibandingkan dengan penggunaan arang sekam atau pupuk kandang secara tunggal. Perbaikan ini tercermin pada peningkatan C-organik (mencapai 3.18%), KTK (20.50 cmol kg⁻¹), penetralan pH (mencapai 6.20), serta perbaikan struktur tanah melalui peningkatan porositas (62.60%).

Amelioran memberikan pengaruh terbaik terhadap seluruh parameter pertumbuhan vegetatif tanaman melon. Tanaman pada perlakuan ini menunjukkan tinggi tanaman tertinggi (48.6 cm), jumlah daun terbanyak (13.6 helai), serta pengembangan akar yang panjang (56.8 cm) dan akumulasi biomassa tajuk yang besar (65.64 g), yang menunjukkan adanya efek sinergis antara perbaikan lingkungan perakaran dan ketersediaan nutrisi.

DAFTAR PUSTAKA

- Akinnowo, S. (2023) Eutrophication: causes, consequences, physical, chemical, and biological techniques for mitigation strategies. *Environmental Challenges*, 13, Article 100733. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100733>
- Baloyi, T., Kutu, F., & Du Preez, C. (2023). Is the use of commercial organic ameliorants for cropping justified? *South African Journal of Plant and Soil*, 40, 34–45. <https://doi.org/10.1080/02571862.2023.2192528>

- Briat, J. F., Gojon, A., Plassard, C., Rouached, H., & Lemaire, G. (2020). Reappraisal of the central role of soil nutrient availability in nutrient management in light of recent advances in plant nutrition at crop and molecular levels. *European Journal of Agronomy*, 116, Article 126069. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126069>
- Bu, X., Xue, J., Zhao, C., Wu, Y., & Han, F. (2017). Nutrient leaching and retention in riparian soils as influenced by rice husk biochar addition. *Soil Science*, 182, 241–247. <https://doi.org/10.1097/SS.00000000000000217>
- Cahyani, V., Firmansyah, M., Cahyono, O., & Widijanto, H. (2024). Exchangeable Al, peanut growth, and nodulation on Ultisol Bogor as affected by ameliorant proportion of lime and organic matter. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2024.112.5429>
- Cervera-Mata, A., Navarro-Alarcón, M., Rufián-Henares, J. Á., Pastoriza, S., Montilla-Gómez, J., & Delgado, G. (2020). Phytotoxicity and chelating capacity of spent coffee grounds: Two contrasting faces in its use as soil organic amendment. *Science of the Total Environment*, 717, Article 137247. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137247>
- Chen, H., Cheng, X., Zhang, X., Shi, H., Chen, J., Xu, R., Chen, Y., Ying, J., Wu, Y., Zhou, Y., & Shi, Y. (2024). Effects of fertilizer application intensity on carbon accumulation and greenhouse gas emissions in Moso bamboo forest–*Polygonatum cyrtoneura* Hua agroforestry systems. *Plants*, 13(14), Article 1941.
- Chojnacka, K., Kowalski, Z., Kulczycka, J., Dmytryk, A., Górecki, H., Ligas, B., & Gramza, M. (2019). Carbon footprint of fertilizer technologies. *Journal of Environmental Management*, 231, 962–967. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.108>
- Doan, T. T., Henry-des-Tureaux, T., Rumpel, C., Janeau, J. L., & Jouquet, P. (2015). Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam: A three-year mesocosm experiment. *Science of the Total Environment*, 514, 147–154. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.02.005>
- Fitriatin, B., Amanda, A., Kamaluddin, N., Khumairah, F., Sofyan, E., Yuniarti, A., & Turmuktini, T. (2021). Some soil biological and chemical properties as affected by biofertilizers and organic ameliorants application on paddy rice. *Eurasian Journal of Soil Science*. <https://doi.org/10.18393/EJSS.829695>
- Gao, J., Zhang, X., Luo, J., Zhu, P., Lindsey, S., Gao, H., Li, Q., Peng, C., Zhang, L., Xu, L., Qiu, W., & Jiao, Y. (2023). Changes in soil fertility under partial organic substitution of chemical fertilizer: A 33-year trial. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12819>
- Ghorbani, M., Amirahmadi, E., Bernas, J., & Konvalina, P. (2024). Testing biochar's ability to moderate extremely acidic soils in tea-growing areas. *Agronomy*, 14(3), Article 533. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030533>
- Hafez, M., Abdallah, A., Mohamed, A., & Rashad, M. (2022). Influence of environmental-friendly bio-organic ameliorants on abiotic stress to sustainable agriculture in arid regions: A long-term greenhouse study in North-Western Egypt. *Journal of King Saud University–Science*. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102212>
- Hindersah, R., Kamaluddin, N., Fauzia, S., Setiawati, M., & Simarmata, T. (2022). Nitrogen-fixing bacteria and organic ameliorant for corn growth and yield increment in Inceptisols. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2022.093.3445>
- Homchat, K., & Ramphueiphad, S. (2022). The continuous carbonisation of rice husk on the gasifier for high yield charcoal production. *Results in Engineering*, 15, Article 100495. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100495>
- Hu, Z., Ji, L., Wan, Q., Li, H., Li, R., & Yang, Y. (2022). Short-term effects of bio-organic fertilizer on soil fertility and bacterial community composition in tea plantation soils. *Agronomy*, 12(9), Article 2168. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092168>
- Ismail, S., & El-Cossy, S. (2023). The impact of adsorbent ameliorants on some physical properties and potato yield in sandy soil under deficit irrigation water. *Alexandria Science Exchange Journal*, 44(4), 789–805. <https://doi.org/10.21608/asejaqjsae.2023.333655>

- Jiang, Z., Zhong, Y., Yang, J., Wu, Y., Li, H., & Zheng, L. (2019). Effect of nitrogen fertilizer rates on carbon footprint and ecosystem service of carbon sequestration in rice production. *Science of the Total Environment*, 670, 210–217. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.188>
- Kakade, A., Salama, E. S., Han, H., Zheng, Y., Kulshrestha, S., Jalalah, M., Harraz, F. A., Alsareii, S. A., & Li, X. (2021). World eutrophic pollution of lake and river: Biotreatment potential and future perspectives. *Environmental Technology & Innovation*, 23, Article 101604. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101604>
- Kang, F., Meng, Y., Ge, Y., Zhang, Y., Gao, H., Ren, X., Wang, J., & Hu, S. (2023). Calcium-based polymers for suppression of soil acidification by improving acid-buffering capacity and inhibiting nitrification. *Journal of Environmental Sciences*, 139, 138–149. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2023.05.025>
- Kasongo, R., Verdoodt, A., Kanyankagote, P., Baert, G., & Van Ranst, E. (2011). Coffee waste as an alternative fertilizer with soil improving properties for sandy soils in humid tropical environments. *Soil Use and Management*, 27, 94–102. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2010.00315.x>
- Konneh, M., Wandera, S., Murunga, S., & Raude, J. (2021). Adsorption and desorption of nutrients from abattoir wastewater: modelling and comparison of rice, coconut, and coffee husk biochar. *Heliyon*, 7, Article e08458. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08458>
- Lauricella, D., Weng, Z., Clark, G., Butterly, C., Li, G., Gazey, C., Sale, P., & Tang, C. (2021). Biochars and their feedstocks differ in their short-term effects in ameliorating acid soils grown with aluminium-sensitive wheat. *Journal of Soils and Sediments*, 21, 2805–2816. <https://doi.org/10.1007/s11368-021-03001-1>
- Li, H., Hu, Z., Wan, Q., Mu, B., Li, G., & Yang, Y. (2022). Integrated application of inorganic and organic fertilizer enhances soil organo-mineral associations and nutrients in tea garden soil. *Agronomy*, 12(6), Article 1330. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061330>
- Li, H., Zhou, Y., Mei, H., Li, J., Chen, X., Huang, Q., Li, X., & Tang, J. (2023). Effects of long-term application of earthworm bio-organic fertilization technology on soil quality and organo-mineral complex in tea garden. *Forests*, 14(2), Article 225. <https://doi.org/10.3390/f14020225>
- Li, Y., Wang, S., Lu, M., Zhang, Z., Chen, M., Li, S., & Cao, R. (2019). Rhizosphere interactions between earthworms and Arbuscular Mycorrhizal Fungi increase nutrient availability and plant growth in the desertification soils. *Soil and Tillage Research*, 186, 146–151. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.10.016>
- Lin, W., Lin, M., Zhou, H., Wu, H., Li, Z., & Lin, W. (2019). The effects of chemical and organic fertilizer usage on rhizosphere soil in tea orchards. *PLOS ONE*, 14(5), e0217018. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217018>
- Linam, F., Limmer, M., Ebling, A., & Seyfferth, A. (2023). Rice husk and husk biochar soil amendments store soil carbon while water management controls dissolved organic matter chemistry in well-weathered soil. *Journal of Environmental Management*, 339, Article 117936. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117936>
- Liu, B., Jia, P., Zou, J., Ren, H., Xi, M., & Jiang, Z. (2025). Improving soil properties and Sesbania growth through combined organic amendment strategies in a coastal saline-alkali soil. *Journal of Environmental Management*, 374, Article 124041. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.124041>
- Liu, L., Long, X., Shao, H., Liu, Z., Ya, T., Zhou, Q., & Zong, J. (2015). Ameliorants improve saline-alkaline soils on a large scale in northern Jiangsu Province, China. *Ecological Engineering*, 81, 328–334. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.04.032>
- Macdonald, C. A., Anderson, I. C., Khachane, A., Singh, B. K., Barton, C. V. M., Duursma, R. A., Ellsworth, D. S., & Singh, B. K. (2020). Plant productivity is a key driver of soil respiration response to climate change in a nutrient-limited soil. *Basic and Applied Ecology*, 48, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2020.12.005>
- Maftu'ah, E., Nurzakiah, S., Sulaeman, Y., & Lestari, Y. (2023). Use of humic and silica materials as soil ameliorant to improve the chemical properties of acid sulphate soil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1162(1), Article 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1162/1/012002>

- Masulili, A., Suryani, S. R., Suci, I., Astar, I., & Bancin, H. P. (2022). Role of biochar amendments in improving the properties of acid sulphate soil. *Research on Crops*, 23, 785–791. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2022.roc-907>
- Molin, S. J., Ernani, P. R., & Gerber, J. M. (2020). Soil acidification and nitrogen release following application of nitrogen fertilizers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51, 2551–2558. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1845347>
- Morra, L., Bilotto, M., Baldantoni, D., Alfani, A., & Baiano, S. (2021). A seven-year experiment in a vegetable crops sequence: Effects of replacing mineral fertilizers with biowaste compost on crop productivity, soil organic carbon and nitrates concentrations. *Scientia Horticulturae*, 290, Article 110534. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110534>
- Ngui, M., Lin, Y., Wei, I., Wang, C., Xu, Y., & Lin, Y. (2024). Effects of the combination of biochar and organic fertilizer on soil properties and agronomic attributes of soybean (*Glycine max* L.). *PLOS ONE*, 19, e0310221. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0310221>
- Prabawardani, S., Taberima, S., Fatoni, S., Mawikere, N., Fenetiruma, O., & Lyons, G. (2024). The use of *Pistia stratiotes* compost as an ameliorant for chili growth and yields in the reclamation fresh tailing area of Timika, Papua. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2024.112.5329>
- Pratiwi, E. P. A., Hillary, A., Fukuda, T., & Shinogi, Y. (2016). The effects of rice husk char on ammonium, nitrate, and phosphate retention and leaching in loamy soil. *Geoderma*, 277, 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.05.006>
- Ragauskaitė, D., & Šlinkšienė, R. (2022). Influence of urea on organic bulk fertilizer of spent coffee grounds and green algae *Chlorella* sp. biomass. *Sustainability*, 14(3), Article 1261. <https://doi.org/10.3390/su14031261>
- Romanelli, A., Soto, D., Matiatos, I., Martinez, D., & Esquius, S. (2020). A biological and nitrate isotopic assessment framework to understand eutrophication in aquatic ecosystems. *Science of the Total Environment*, 715, Article 136909. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136909>
- Sheoran, P., Basak, N., Kumar, A., Yadav, R. K., Singh, R., Sharma, R., Kumar, S., Singh, R. K., & Sharma, P. C. (2021). Ameliorants and salt tolerant varieties improve rice-wheat production in soils undergoing sodification with alkali water irrigation in Indo-Gangetic Plains of India. *Agricultural Water Management*, 243, Article 106492. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106492>
- Siti, Z. (2020). Effects of ameliorant Cu^{2+} , Fe^{3+} , and Zn^{2+} and palm oil frond compost applications on the growth and production of mung bean (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek) grown on peat soil in Riau. *Applied Ecology and Environmental Research*, 18, 5199–5209. https://doi.org/10.15666/aecr/1804_51995209
- Tong, D., & Xu, R. (2012). Effects of urea and $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ on nitrification and acidification of ultisols from southern China. *Journal of Environmental Sciences*, 24(4), 682–689. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(11\)60832-2](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(11)60832-2)
- Wang, Q., Zhao, Z., Yuan, M., Zhang, Z., Chen, S., Ruan, Y., & Huang, Q. (2022). Impacts of urea and 3,4-Dimethylpyrazole phosphate on nitrification, targeted ammonia oxidizers, non-targeted nitrite oxidizers, and bacteria in two contrasting soils. *Frontiers in Microbiology*, 13, Article 952967. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.952967>
- Wang, S., Luo, S., Zhou, X., Chang, C., Tian, L., Li, X., Yu, H., Gao, Q., & Tian, C. (2018). Soil ameliorants alter physicochemical properties and fungal communities in saline-sodic soils of Northeast China. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65, 1147–1159. <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1555707>
- Widaningsih, R. (2019). *Outlook komoditas perkebunan kopi*. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, Sekretariat Jenderal, Kementerian Pertanian.
- Wurtsbaugh, W. A., Paerl, H. W., & Dodds, W. K. (2019). Nutrients, eutrophication, and harmful algal blooms along the freshwater to marine continuum. *WIREs Water*, 6(5), e1373. <https://doi.org/10.1002/wat2.1373>
- Xia, Y., Feng, J., Zhang, H., Xiong, D., Kong, L., Seviour, R., & Kong, Y. (2024). Effects of soil pH on the growth, soil nutrient composition, and rhizosphere microbiome of *Ageratina adenophora*. *PeerJ*, 12, e17231. <https://doi.org/10.7717/peerj.17231>

- Xu, W., Yang, Q., Liu, W., Jiang, Y., Guo, X., Sun, R., Luo, W., Fang, M., & Wu, Z. (2024). Partial organic substitution fertilization improves soil fertility while reducing N mineralization in rubber plantations. *Forests*, 15(9), Article 1521. <https://doi.org/10.3390/f15091521>
- Xu, X., Bi, R., Song, M., Dong, Y., Jiao, Y., Wang, B., & Xiong, Z. (2024). Organic substitutions enhanced soil carbon stabilization and reduced carbon footprint in a vegetable farm. *Soil and Tillage Research*, 231, Article 105955. <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105955>
- Zhang, S., Xue, L., Liu, J., Jia, P., Feng, Y., Xu, Y., Li, Z., & Zhao, X. (2024). One-third substitution of nitrogen with cow manure or biochar greatly reduced N₂O emission and carbon footprint in saline-alkali soils. *Field Crops Research*, 305, Article 109517. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109517>