

**KOMBINASI BIOCHAR SEKAM PADI, TONGKOL JAGUNG,
DAN TEMPURUNG KELAPA UNTUK MENINGKATKAN
C-ORGANIK, KTK DAN pH TANAH
PADA TANAMAN TOMAT**

SKRIPSI

Oleh :

GINA NURAWALIA

A0322007



**PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI
FAKULTAS PERTANIAN DAN KEHUTANAN
UNIVERSITAS SULAWESI BARAT
MAJENE
2026**

**KOMBINASI BIOCHAR SEKAM PADI, TONGKOL
JAGUNG, DAN TEMPURUNG KELAPA UNTUK
MENINGKATKAN C-ORGANIK, KTK DAN pH
TANAH PADA TANAMAN TOMAT**

SKRIPSI

Diajukan Kepada Program Studi Agroekoteknologi Untuk Memenuhi Salah Satu
Syarat Untuk Menyelesaikan Tugas Akhir Atau Penelitian Pada Program Studi
Agroekoteknologi

Oleh:

GINA NURAWALIA

A0322007



**PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI
FAKULTAS PERTANIAN DAN KEHUTANAN
UNIVERSITAS SULAWESI BARAT**

MAJENE

2026



UNIVERSITAS SULAWESI BARAT
FAKULTAS PERTANIAN DAN KEHUTANAN
PROGTAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI
PROGRAM SARJANA

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama :Gina Nurawalia

NIM :A0322007

Program Studi :Agroekoteknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“kombinasi biochar sekam padi, tongkol jagung dan tempurung kelapa untuk meningkatkan C-organik, KTK dan pH tanah pada tanaman tomat”** adalah benar merupakan hasil karya saya di bawah arahan dosen pembimbing dan belum pernah di ajukan ke perguruan tinggi mana pun serta seluruh sumber yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.



HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Kombinasi *Biochar* Sekam Padi, Tongkol Jagung
Dan Tempurung Kelapa Untuk Meningkatkan C-
Organik, KTK dan pH Tanah Pada Tanaman Tomat

Nama : Gina Nurawalia

Nim : A0322007

Disetujui oleh

Pembimbing I



Dian Utami Zainuddin, S.Si., M.Si.
NIP.199502162019032013

Pembimbing II



Muhammad Fahyu Sanjaya, S.P., M.P.
NIP. 199404072022031006

Diketahui oleh



Ketua Program Studi
Agroekoteknologi



Dwi Ratna Sari, S.P., M.Si.
NIP.199208022022032011

Tanggal Lulus:



HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi dengan judul
**KOMBINASI BIOCHAR SEKAM PADI, TONGKOL JAGUNG DAN
TEMPURUNG KELAPA UNTUK MENINGKATKAN C-ORGANIK, KTK
DAN pH TANAH PADA TANAMAN TOMAT**



Disusun oleh:
**GINA NURAWALIA
A0322007**

Telah dipertahankan di depan tim penguji Skripsi
Fakultas Pertanian dan Kehutanan
Universitas Sulawesi Barat
Pada tanggal 8 April 2026 dan dinyatakan **LULUS**

SUSUNAN TIM PENGUJI

Tim Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1. Dwi Ratna Sari, S.P., M.Si		20/04/2026
2. Muhammad Nasrul, S.P. M.P		20/04/2026

SUSUNAN KOMISI PEMBIMBING

Komisi Pembimbing	Tanda Tangan	Tanggal
1. Dian Utami Zainuddin, S.Si., M.Si		20/04/2026
2. Muhammad Fahyu Sanjaya, S.P., M.P		21/04/2026

ABSTRAK

GINA NURAWALIA. Kombinasi *Biochar* Sekam Padi, Tongkol Jagung, Dan Tempurung Kelapa Untuk Meningkatkan C-Organik, KTK Dan pH Tanah Pada Tanaman Tomat. Dibimbing oleh **DIAN UTAMI ZAINUDDIN, S.Si., M.Si dan MUHAMMAD FAHYU SANJAYA, S.P., M.P.**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian *biochar* terhadap peningkatan C-Organik, Kapasitas Tukar Kation (KTK) dan pH tanah pada tanaman tomat. Penelitian dilaksanakan pada bulan Juli sampai Oktober 2025 di Green House Fakultas Pertanian Dan Kehutanan Universitas Sulawesi Barat, Laboratorium Terpadu Universitas Sulawesi Barat Dan Laboratorium Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin. Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) non faktorial dengan 4 taraf perlakuan yaitu : tanpa menggunakan *biochar* (B0), *biochar* 50g (B1), *biochar* 100g (B2), dan *biochar* 150g (B3). Penelitian ini terdiri dari 3 ulangan dan 3 unit sehingga perlakuan terdiri dari 12 tanaman dan total tanaman dalam penelitian ini yaitu 36. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian *biochar* meningkatkan C-Organik, KTK dan pH tanah. Akan tetapi berdasarkan uji statistik, pemberian *biochar* belum mampu memberikan pengaruh beda nyata pada parameter pengamatan tinggi tanaman, jumlah daun, diameter batang, dan jumlah buah. Perlakuan 150g (B3) memberikan nilai pH tertinggi yaitu 5,00, perlakuan 50g (B1) dan 100g (B2) memberikan nilai KTK tertinggi yaitu 25,11 cmol(+)/kg. Sedangkan peningkatan C-Organik tanah tertinggi diperoleh pada perlakuan 150g (B3) yaitu 2,74 dibandingkan kontrol. Secara umum, pemberian *biochar* mampu memperbaiki sifat kimia tanah pada budidaya tanaman tomat.

Kata kunci : *Biochar*, C-Organik, Kapasitas Tukar Kation (KTK), Tanaman tomat.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Tomat merupakan salah satu jenis sayuran populer dan digemari karena cita rasanya yang enak serta kandungan gizinya yang melimpah, sehingga sejak abad ke-16 telah berkembang menjadi komoditas pertanian yang bernilai ekonomi tinggi (Liu et al., 2022). Tingginya pemanfaatan tomat menyebabkan kebutuhan pasar terhadap komoditas ini terus meningkat. Tomat mudah dipasarkan baik di pasar tradisional maupun di swalayan, meskipun harganya cenderung berfluktuasi (Saptana et al., 2023). Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2024, produksi tomat di Indonesia tercatat sebesar 1,15 juta ton, atau mengalami kenaikan sebesar 0,79% dibandingkan tahun 2023. Keberhasilan budidaya tanaman tomat sangat dipengaruhi oleh kualitas tanah yang digunakan sebagai media tanam. (Nicholas et al., 2024).

Kesuburan tanah merupakan faktor utama yang menentukan keberhasilan budidaya tanaman, terutama yang berkaitan dengan sifat kimia tanah seperti pH, kapasitas tukar kation (KTK), dan kandungan C-organik. Ketiga parameter tersebut berperan penting dalam menentukan ketersediaan unsur hara, aktivitas mikroorganisme, serta kemampuan tanah dalam mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal (Kuśmierz et al., 2023). pH tanah merupakan indikator utama yang mempengaruhi kelarutan dan ketersediaan unsur hara. Tanah dengan pH terlalu masam dapat menyebabkan meningkatnya kelarutan unsur toksik seperti Al dan Fe, serta menurunkan ketersediaan unsur hara makro yang dibutuhkan tanaman (Wu et al., 2024). Selain itu, kapasitas tukar kation (KTK) menggambarkan kemampuan tanah dalam menahan dan menyediakan unsur hara bermuatan positif seperti K^+ , Ca^{2+} , dan Mg^{2+} . Tanah dengan nilai KTK rendah umumnya memiliki kemampuan terbatas dalam menyimpan hara sehingga mudah mengalami pencucian (Hun & Sarun, 2026).

Di sisi lain, kandungan C-organik tanah berperan penting dalam memperbaiki struktur tanah, meningkatkan agregasi, serta menjadi sumber energi bagi mikroorganisme tanah. Rendahnya kandungan C-organik akan berdampak pada menurunnya kualitas tanah secara keseluruhan, baik secara fisik, kimia, maupun

biologis (Putra et al., 2024). Namun, penggunaan pupuk kimia secara terus-menerus tanpa diimbangi bahan organik dapat menurunkan kualitas tanah, terutama menyebabkan penurunan C-organik, perubahan pH tanah, serta menurunnya nilai KTK. Kondisi ini pada akhirnya berdampak pada rendahnya efisiensi pemupukan dan menurunnya produktivitas tanaman (Machado & Serralheiro, 2017)

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk memperbaiki sifat kimia tanah adalah melalui penambahan bahan organik berupa biochar. Biochar merupakan bahan kaya karbon yang dihasilkan dari proses pirolisis biomassa dan diketahui memiliki kemampuan dalam meningkatkan pH tanah, menambah kandungan C-organik, serta memperbaiki kapasitas tukar kation (KTK) (Udomkun et al., 2026). Berbagai jenis bahan baku biochar seperti sekam padi, tongkol jagung, dan tempurung kelapa memiliki karakteristik yang berbeda sehingga berpotensi memberikan efek yang berbeda pula terhadap sifat kimia tanah. Oleh karena itu, kombinasi beberapa jenis biochar diduga dapat memberikan efek yang lebih optimal dalam memperbaiki pH, KTK, dan C-organik tanah (Osei et al., 2025).

Dalam usaha meningkatkan kesuburan tanah, pemanfaatan bahan organik menjadi alternatif yang cukup menjanjikan. Salah satu bahan organik yang kini tengah dikembangkan adalah *biochar* (Deshoux et al., 2023). *Biochar* merupakan bahan karbon yang dibuat dengan memanaskan bahan organik tanpa banyak udara. *Biochar* terbentuk dari proses pembakaran kering berbagai sisa tanaman, termasuk limbah pertanian (Afshar & Mofatteh, 2024). Penambahan *biochar* ke dalam tanah merupakan metode yang efisien untuk meningkatkan kadar C-organik, KTK dan memperbaiki pH tanah karena *biochar* menyumbang karbon yang stabil dan mampu memperbaiki kualitas tanah secara keseluruhan (Tian et al., 2024).

Biochar yang dibuat dari sekam padi pada suhu 600 dan 500 °C mampu meningkatkan pH tanah. Kandungan karbon yang tinggi, struktur yang berpori serta sifatnya yang alkalis menjadikan penambahan *biochar* ke dalam tanah sebagai pendekatan yang efektif dan mudah diterapkan untuk memperbaiki kualitas dan kesuburan tanah (Tusar et al., 2023). *Biochar* yang terbuat dari tempurung kelapa terbukti mampu meningkatkan Kapasitas Tukar Kation (KTK) di dalam tanah (Herlambang et al., 2022). Pengaplikasian biochar tongkol jagung terbukti dapat meningkatkan C-organik tanah secara signifikan di bandingkan dengan perlakuan kontrol (Ali et al., 2021).

Ketersediaan C-organik dalam jumlah yang memadai memiliki peran penting dalam proses pembentukan agregat tanah. Bahan organik bertindak sebagai perekat yang mengikat partikel-partikel tanah sehingga membentuk struktur yang lebih stabil, berpori, dan mampu meningkatkan kemampuan tanah dalam menyerap serta mengalirkan air melalui proses infiltrasi (Petropoulos et al., 2025). Tidak hanya itu, kapasitas tukar kation (KTK) merupakan parameter penting yang menggambarkan kemampuan tanah menahan dan menukar ion-ion bermuatan positif (Mustafa et al., 2024). pH tanah merupakan salah satu faktor utama yang menentukan aktivitas serta fungsi mikroorganisme di dalam tanah dan dipengaruhi oleh tingkat pH tersebut (Mitsuta et al., 2025).

Secara signifikan *biochar* mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman tomat. Sifat dan kandungan *biochar* sangat dipengaruhi oleh jenis bahan baku yang digunakan serta cara pembuatannya, termasuk suhu. *Biochar* memiliki potensi besar dalam mitigasi perubahan iklim, salah satunya melalui kemampuannya mengikat dan menyimpan karbon dalam bentuk yang stabil meskipun besarnya manfaat tersebut sering sulit di ukur secara pasti (Kabir et al., 2023).

Penelitian terkini menunjukkan bahwa *biochar* berpotensi dalam bidang pertanian. Efek *biochar* memberikan keuntungan secara keseluruhan untuk semua parameter agronomi yang diteliti (Schmidt et al., 2021).

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa perlakuan *biochar* limbah kelapa menaikkan nilai pH 9,51% dan C-organik naik 9,65%, sehingga aplikasi *biochar* dan kompos yang rutin dapat memperbaiki kualitas tanah (Mawardiana et al., 2025). Belum banyak yang mengeksplorasi potensi kombinasi dari berbagai jenis bahan baku *biochar* untuk meningkatkan kualitas tanah, terutama dalam hal kandungan C-organik, kapasitas tukar kation (KTK), dan pH tanah. Karena setiap bahan baku *biochar* memiliki karakteristik yang berbeda, beberapa jenis *biochar* bisa memberikan dampak yang lebih baik untuk tanah, dibandingkan dengan penggunaan satu jenis *biochar* saja.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis berbagai dosis *biochar* sekam padi, tongkol jagung dan tempurung kelapa yang digunakan untuk melihat bagaimana pengaplikasian *biochar* mampu memberikan pengaruh yang signifikan terhadap pertumbuhan tanaman tomat serta meningkatkan sifat kimia tanah yaitu C-organik, KTK, serta pH tanah.

1.1. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh penerapan kombinasi *biochar* sekam padi, tongkol jagung dan tempurung kelapa dalam meningkatkan sifat kimia tanah yaitu C-Organik, KTK, dan pH tanah ?
2. Bagaimana pengaruh kombinasi *biochar* sekam padi, tongkol jagung dan tempurung kelapa terhadap respon pertumbuhan tanaman tomat ?

1.2. Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh kombinasi ketiga jenis bahan *biochar* dalam meningkatkan sifat kimia tanah yaitu C-Organik, KTK, dan pH tanah pada tanaman tomat
2. Mengetahui pengaruh kombinasi *biochar* sekam padi, tongkol jagung dan tempurung kelapa terhadap pertumbuhan tanaman tomat

1.3. Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi bagi para petani mengenai penggunaan kombinasi *biochar* sekam padi, tongkol jagung dan tempurung kelapa sebagai bahan alternatif pembenah tanah yang mampu meningkatkan kualitas dan produksi tanaman tomat.
2. Membantu peneliti selanjutnya mengenai pengaruh kombinasi *biochar* dari sekam padi, tongkol jagung dan tempurung kelapa terhadap sifat kimia tanah yaitu C-Organik, KTK, dan pH pada tanaman tomat.

1.4. Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah H₀: Kombinasi *biochar* sekam padi, tongkol jagung dan tempurung kelapa tidak berpengaruh nyata terhadap budidaya tanaman tomat dan sifat kimia tanah yaitu C-organik, KTK, dan pH tanah, H₁: pemberian kombinasi *biochar* sekam padi, tongkol jagung dan tempurung kelapa berpengaruh nyata terhadap budidaya tanaman tomat dan sifat kimia C-organik, KTK, dan pH tanah. Kesimpulan dari penelitian ini yang diharapkan akan menolak H₀ dan menerima H₁.

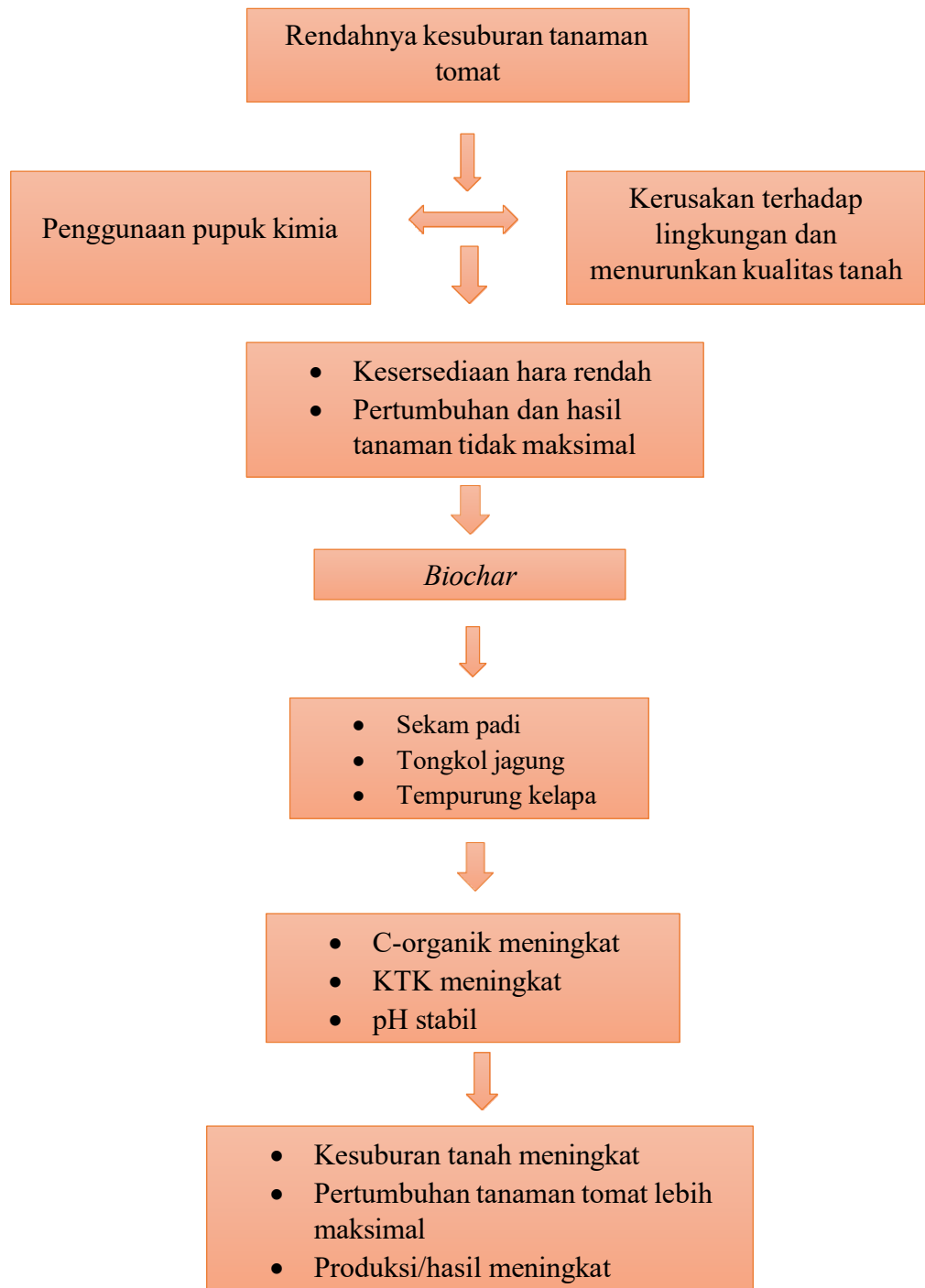
1.5. Kerangka Pikir

Kerangka pikir dalam penelitian ini berawal dari permasalahan rendahnya kualitas kesuburan tanah yang digunakan dalam budidaya tanaman tomat. Permasalahan yang timbul akibat penggunaan pupuk kimia yang menyebabkan terjadi kerusakan lingkungan dan menurunkan kesuburan tanah khususnya terkait kandungan C-organik, KTK, dan pH tanah. Tanah dengan kandungan C-organik yang sedikit, KTK yang rendah serta pH yang tidak sesuai akan membatasi ketersediaan hara dan sehingga pertumbuhan dan hasil tanaman tomat tidak maksimal.

Sementara itu, *biochar* yang dihasilkan melalui non pirolisis sekam padi, tongkol jagung dan tempurung kelapa merupakan bahan organik yang umumnya kaya karbon, memiliki KTK yang tinggi, dan berpotensi memperbaiki pH tanah. C-organik, KTK, dan pH menciptakan kondisi tanah yang optimal untuk budidaya tanaman tomat. Dalam keadaan tersebut tanaman tomat dapat tumbuh lebih maksimal.

Pengaplikasian dari kombinasi *biochar* diharapkan dapat meningkatkan kandungan C-organik melalui penambahan karbon yang stabil, meningkatkan KTK sehingga tanah jadi lebih mampu menahan dan menyimpan hara penting, serta menyesuaikan pH tanah menjadi lebih sesuai bagi pertumbuhan tanaman tomat.

Dengan demikian, kombinasi *biochar* dari sekam padi, tongkol jagung dan tempurung kelapa dapat memberikan hasil yaitu kesuburan tanah meningkat dan kondisi tanah membaik sehingga pertumbuhan tanaman tomat lebih maksimal dan produksinya meningkat.



Gambar 1. Kerangka

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Pemberian kombinasi *biochar* sekam padi, tongkol jagung, dan tempurung kelapa memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat kimia tanah, khususnya kandungan C-organik dan pH tanah dibandingkan dengan perlakuan tanpa *biochar*. Meskipun pemberian *biochar* belum mampu meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) secara signifikan, namun berpotensi meningkatkan KTK dibandingkan dengan tanpa *biochar*.
2. Pemberian *biochar* belum bisa menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap pertumbuhan tanaman tomat, yang tercermin dari parameter agronomi seperti tinggi tanaman, jumlah daun, diameter batang, dan jumlah buah, dan perbedaan antar dosis menunjukkan pengaruh yang tidak nyata.

5.2 Saran

Diharapkan hasil penelitian ini dapat dijadikan acuan bagi petani untuk memanfaatkan kombinasi *biochar* sekam padi, tongkol jagung, dan tempurung kelapa sebagai pembenah tanah dalam upaya meningkatkan kesuburan tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman tomat, khususnya pada lahan dengan kondisi tanah masam dan kandungan bahan organik rendah. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan pengujian pada skala lapangan dengan variasi dosis dan kombinasi perlakuan yang lebih beragam.

DAFTAR PUSTAKA

- Adekiya, A. O., Ogunbode, T. O., Esan, V. I., Adedokun, O., Olatubi, I. V., & Ayegboyin, M. H. (2025). Short term effects of biochar on soil chemical properties, growth, yield, quality, and shelf life of tomato. *Scientific Reports*, *15*(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-10411-5>
- Afshar, M., & Mofatteh, S. (2024). Biochar for a sustainable future: Environmentally friendly production and diverse applications. *Results in Engineering*, *23*. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102433>
- Ali, A., Jabeen, N., Chachar, Z., Chachar, S., Ahmed, S., Ahmed, N., Laghari, A. A., Sahito, Z. A., Farruhbek, R., & Yang, Z. (2025). The role of biochar in enhancing soil health & interactions with rhizosphere properties and enzyme activities in organic fertilizer substitution. In *Frontiers in Plant Science* (Vol. 16). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1595208>
- Ali, M. Y., Sina, A. A. I., Khandker, S. S., Neesa, L., Tanvir, E. M., Kabir, A., Khalil, M. I., & Gan, S. H. (2021). Nutritional composition and bioactive compounds in tomatoes and their impact on human health and disease: A review. *Foods*, *10*(1). <https://doi.org/10.3390/foods10010045>
- Ananda, K. D., Sapanca, Y. L. P., Pratiwi, E. P. N., & Elo, D. A. (2023). Pengaruh Pemberian Dosis Biochar Tempurung Kelapa Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Sawi Pakcoy (*Brassica Rapa L.*). *Jurnal Pertanian Berbasis Keseimbangan Ekosistem*, *13*(26), 20–24.
- Antonangelo, J. A., Culman, S., & Zhang, H. (2024). Comparative analysis and prediction of cation exchange capacity via summation: influence of biochar type and nutrient ratios. *Frontiers in Soil Science*, *4*. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2024.1371777>
- Apori, S. O., Byalebeka, J., & Muli, G. K. (2021). Residual effects of corncob biochar on tropical degraded soil in central Uganda. *Environmental Systems Research*, *10*(1). <https://doi.org/10.1186/s40068-021-00235-3>
- Bai, Y. C., Chang, Y. Y., Hussain, M., Lu, B., Zhang, J. P., Song, X. B., Lei, X. S., & Pei, D. (2020). Soil chemical and microbiological properties are changed by long-term chemical fertilizers that limit ecosystem functioning. *Microorganisms*, *8*(5). <https://doi.org/10.3390/microorganisms8050694>
- Bianchini, G., D'Asaro, L., Ceccanti, C., Guidi, L., & Cardelli, R. (2026). Biochar Improves Soil Fertility in Sandy Nutrient-Poor Soil, While Wood Distillate Modulates Nutrient Dynamics and Plant Physiological Responses in Basil (*Ocimum basilicum L.*) Plants. *Agronomy*, *16*(5). <https://doi.org/10.3390/agronomy16050498>
- Boostani, H. R., Jalalpour, Z., Behpouri, A., Bijanzadeh, E., & Najafi-Ghiri, M. (2025). Comparative efficacy of individually and combined application of

- Cruz-Chamorro, I., Santos-Sánchez, G., Martín, F., Fernández-Pachón, M. S., Hornero-Méndez, D., & Cerrillo, I. (2024). Evaluation of the Impact of the Ripening Stage on the Composition and Antioxidant Properties of Fruits from Organically Grown Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Spanish Varieties. *Foods*, *13*(15). <https://doi.org/10.3390/foods13152337>
- Deshoux, M., Sadet-Bourgeteau, S., Gentil, S., & Prévost-Bouré, N. C. (2023). Effects of biochar on soil microbial communities: A meta-analysis. *Science of the Total Environment*, *902*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166079>
- Domingues, R. R., Sánchez-Monedero, M. A., Spokas, K. A., Melo, L. C. A., Trugilho, P. F., Valenciano, M. N., & Silva, C. A. (2020). Enhancing cation exchange capacity of weathered soils using biochar: Feedstock, pyrolysis conditions and addition rate. *Agronomy*, *10*(6). <https://doi.org/10.3390/agronomy10060824>
- Domouso, P., Pareja-Sánchez, E., Calero, J., & García-Ruiz, R. (2024). Carbon and Nitrogen Mineralization of Common Organic Amendments in Olive Grove Soils. *Agriculture (Switzerland)*, *14*(11). <https://doi.org/10.3390/agriculture14111923>
- Drané, M., Zbair, M., Hajjar-Garreau, S., Josien, L., Michelin, L., Bennici, S., & Limousy, L. (2024). Unveiling the Potential of Corn Cob Biochar: Analysis of Microstructure and Composition with Emphasis on Interaction with NO₂. *Materials*, *17*(1). <https://doi.org/10.3390/ma17010159>
- Dyah Yuniwati, E., Kirno Prasetya, I., Sri Rahayu, Y., & Arshad, I. (2023). Distribution of Biochar Technology as an organic planting medium and optimal biochar dose for *Abelmoschus Esculentus* L. Moench growth and production. In *Assyfa Journal of Farming and Agriculture* (Vol. 1, Number 1).
- Eka Putra, R., Lutfi Rayes, M., Kurniawan, S., & Reni Ustiatik. (2024). Pengaruh Kombinasi Pupuk Organik dan Anorganik terhadap Sifat Fisik dan Kimia Tanah serta Produksi Padi pada Lahan Kering yang Disawahkan. *Jurnal Agrikultura*, *2024*(1), 136–150. <https://doi.org/10.657.274,96>
- ELsaman, N. K., Amin, A. E. E. A. Z., El-Razek, M. A., & Roshdy, N. M. K. (2025). Comparative effects of different types and doses of biochar on soil quality indicators and arugula growth under saline conditions. *Scientific Reports*, *15*(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-92816-w>
- Endriani, E., Sa'ad, A., & Listyarini, D. (2025). The Influence of Compost and Biochar on the Physico-Chemical Properties of Soil and the Growth of Tomatoes in Sub-Optimal Land. *JOURNAL OF TROPICAL SOILS*, *30*(2), 85–95. <https://doi.org/10.5400/jts.2025.v30i2.85-95>
- Frimpong, K. A., Owusu, S., Darko, R. O., Hanyabui, E., Abbey, A. N. A., & Tetteh, D. A. (2025). Effect of biochar application rates on soil properties and growth of *Amaranthus caudatus*. *Discover Agriculture*, *3*(1). <https://doi.org/10.1007/s44279-025-00172-0>

- Furqoni, H. (2025). Optimizing Sweet Corn Yield and Profitability Through NPK Compound Fertilizer Application. *Botani : Publikasi Ilmu Tanaman Dan Agribisnis*, 2(3), 106–116. <https://doi.org/10.62951/botani.v2i3.441>
- Hamissou, I. G. M., Sylvie, K. A. T., Marius, K. Y. D., Nazirou, G. L. M., Nassirou, A. K. M., Casimir, B. Y., & Benjamin, Y. K. (2025). Impact of Biochar and NPK Fertilization on Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Growth, Yield and Soil Properties in Degraded Tropical Soils. *Annual Research & Review in Biology*, 40(10), 136–150. <https://doi.org/10.9734/arrb/2025/v40i102328>
- Herlambang, S., Yudhiantoro, D., Gomareuzzaman, M., Lestari, I., Wibowo, A. W. A., & Utami, A. (2022). The Effect of Biochar on Root Growth in Sustainable Agriculture. *KnE Life Sciences*, 521–530. <https://doi.org/10.18502/kls.v7i3.11158>
- Hu, Y., & Zhu, B. (2025). Effects of Organic Amendments with Different C/N Ratios and Application Rates on N Mineralization–Immobilization in Calcareous Cropland Soil. *Agronomy*, 15(12). <https://doi.org/10.3390/agronomy15122795>
- Hun, H., & Sarun, H. (2026). Attribution 4.0 International CHAPTER 03 Soil Chemical Properties and Nutrient Dynamics: pH, Cation Exchange Capacity, Nutrient Cycling, and Constraints to Plant Growth. *Journal of Agriculture and Environment*, 5. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18047215>
- Huong, P. T., Jitae, K., Al Tahtamouni, T. M., Le Minh Tri, N., Kim, H. H., Cho, K. H., & Lee, C. (2020). Novel activation of peroxydisulfate by biochar derived from rice husk toward oxidation of organic contaminants in wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, 33. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.101037>
- Jayagma Ilham, D., Meyuliana, A., Elinda, F., Messa, T., & Putri, J. M. (2025). The Effect Of Co-Composting Coal Fly Ash With Organic Materials On The Chemical Properties Of Compost And The Growth Of Green Mustard On Ultisol. *JURNAL SAINS AGRO*, 10(2), 237–247. <https://doi.org/10.36355/jsa.v10i2>
- Jia, M., Wang, Y., Zhang, Q., Lin, S., Zhang, Q., Chen, Y., Hong, L., Jia, X., Ye, J., & Wang, H. (2024). Effect of Soil pH on the Uptake of Essential Elements by Tea Plant and Subsequent Impact on Growth and Leaf Quality. *Agronomy*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/agronomy14061338>
- Jungkunst, H. F., Göpel, J., Horvath, T., Ott, S., & Brunn, M. (2022). Global soil organic carbon–climate interactions: Why scales matter. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 13(4). <https://doi.org/10.1002/wcc.780>
- Kabir, E., Kim, K. H., & Kwon, E. E. (2023). Biochar as a tool for the improvement of soil and environment. In *Frontiers in Environmental Science* (Vol. 11). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1324533>

- Kuśmierz, S., Skowrońska, M., Tkaczyk, P., Lipiński, W., & Mielniczuk, J. (2023). Soil Organic Carbon and Mineral Nitrogen Contents in Soils as Affected by Their pH, Texture and Fertilization. *Agronomy*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/agronomy13010267>
- Lei, Y., Xu, L., Wang, M., Sun, S., Yang, Y., & Xu, C. (2024). Effects of Biochar Application on Tomato Yield and Fruit Quality: A Meta-Analysis. *Sustainability (Switzerland)*, 16(15). <https://doi.org/10.3390/su16156397>
- Liu, W., Liu, K., Chen, D., Zhang, Z., Li, B., El-Mogy, M. M., Tian, S., & Chen, T. (2022). *Solanum lycopersicum*, a Model Plant for the Studies in Developmental Biology, Stress Biology and Food Science. In *Foods* (Vol. 11, Number 16). MDPI. <https://doi.org/10.3390/foods11162402>
- Liu, Y., Zhang, M., Xiong, H., Li, Y., Zhang, Y., Huang, X., Yang, Y., Zhu, H., & Jiang, T. (2023). Influence of long-term fertilization on soil aggregates stability and organic carbon occurrence characteristics in karst yellow soil of Southwest China. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1126150>
- Machado, R. M. A., & Serralheiro, R. P. (2017). Soil salinity: Effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. In *Horticulturae* (Vol. 3, Number 2). MDPI Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/horticulturae3020030>
- Majeed M. Ali Jaaf, S., Li, Y., Günal, E., Ali El Enshasy, H., Salmen, S. H., & Sürücü, A. (2022). The impact of corncob biochar and poultry litter on pepper (*Capsicum annuum* L.) growth and chemical properties of a silty-clay soil. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(4), 2998–3005. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.01.037>
- Maxim, A., Albu, V. C., Vodnar, D. C., Mihăiescu, T., Mang, Ștefania M., Camele, I., Trotta, V., Bonomo, M. G., Mihalescu, L., Sandor, M., Ranga, F., & Borsai, O. (2023). Assessment of Tomato (*Solanum lycopersicum*) Landraces for Their Agronomic, Biochemical Characteristics and Resistance to *Phytophthora infestans*. *Agronomy*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/agronomy13010021>
- Mbay, wa O. Nurmahsita., Darwis, Resman, Ginting, S., Syaf, H., & Namriah. (2023). Pengaruh biochar terhadap beberapa sifat kimia tanah dan pertumbuhan tanaman nilam (*Pogostemon cablin* Benth) pada tanah tambang nikel. *AGRONU: JURNAL AGROTEKNOLOGI*, 2(2), 103–113.
- Mitsuta, A., Lourenço, K. S., de Oliveira, B. G., de Assis Costa, O. Y., Cantarella, H., & Kuramae, E. E. (2025). Soil pH determines the shift of key microbial energy metabolic pathways associated with soil nutrient cycle. *Applied Soil Ecology*, 208. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2025.105992>
- Murtaza, G., Usman, M., Iqbal, J., Hyder, S., Solangi, F., Iqbal, R., Okla, M. K., Al-Ghamdi, A. A., Elsalahy, H. H., Tariq, W., & Al-Elwany, O. A. A. I.

- (2024). Liming potential and characteristics of biochar produced from woody and non-woody biomass at different pyrolysis temperatures. *Scientific Reports*, *14*(1). [https://doi.org/ 10.1038/s41598-024-61974-8](https://doi.org/10.1038/s41598-024-61974-8)
- Mustafa, A. rahman A., Abdelsamie, E. A., Mohamed, E. S., Rebouh, N. Y., & Shokr, M. S. (2024). Modeling of Soil Cation Exchange Capacity Based on Chemometrics, Various Spectral Transformations, and Multivariate Approaches in Some Soils of Arid Zones. *Sustainability (Switzerland)*, *16*(16). [https://doi.org/ 10.3390/su16167002](https://doi.org/10.3390/su16167002)
- Nicholas, L., Devine, A., Robertson, I., & Mabbett, I. (2024). The Effect of Biochar on Tomato (*Solanum lycopersicum*) Cultivar Micro-Tom Grown under Continuous Light. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *24*(4), 6775–6781. <https://doi.org/10.1007/s42729-024-02003-5>
- Obadi, A., Alharbi, A., Alomran, A., Alghamdi, A. G., Louki, I., Alkhasha, A., & Alqardaei, T. (2024). Enhancement in Tomato Yield and Quality Using Biochar Amendments in Greenhouse under Salinity and Drought Stress. *Plants*, *13*(12). <https://doi.org/10.3390/plants13121634>
- Osei, G. K., Ngatia, L. W., Abazinge, M. D., Bolques, A., Jagoe, C., Owens, M. A., Mwashote, B., & Fu, R. (2025). Influence of Biochar Organic Carbon Composition and Thermal Stability on Nitrate Retention and Tomato Yield on Soilless Biochar Amended Growth Media. *Agriculture (Switzerland)*, *15*(8). <https://doi.org/10.3390/agriculture15080865>
- Pan, F., Zhang, J., Tang, J., & Chen, B. (2025). Soil aggregate and organic nitrogen distributions as influenced by vermicompost application in vegetable greenhouse. *Scientific Reports*, *15*(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-06286-1>
- Petropoulos, T., Benos, L., Busato, P., Kyriakarakos, G., Kateris, D., Aidonis, D., & Bochtis, D. (2025). Soil Organic Carbon Assessment for Carbon Farming: A Review. In *Agriculture (Switzerland)* (Vol. 15, Number 5). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/agriculture15050567>
- Prasetyo, Y., Hidayat, B., Bintang, S., Program, S., Agroteknologi, F., Pertanian, U., Sumatera, U., Jl, A., Sofian, N., Bulan, P., & Medan Baru, K. (2020). Karakteristik Kimia Biochar Dari Beberapa Biomassa Dan Metode Pirolisis. *Online) Oktober*, *23*(1). <https://doi.org/10.30596/agrium.v21i3.2456>
- Pulliam, J. J., Cassity-Duffey, K., & Cabrera, M. (2025). Effect of Biochar on the Nitrogen Mineralization of Commercial Organic Fertilizers in Both Mineral Soil and Organic Potting Media. *Nitrogen (Switzerland)*, *6*(3). <https://doi.org/10.3390/nitrogen6030071>
- Rembon, F. S., Kilowasid, L. M. H., Afa, L. O., Rakian, T. C., Parapa, I., Laksana, M. A. N., Sabaruddin, L., Ansi, A., Ramadhan, L. O. A. N., Dahlan, & Zulfikar. (2024). Water holding capacity, aggregation, respiration, and chemical character of acid soil amended rice straw biochar enriched with different volumes of liquid extract (sap) of *Kappapychus alvarezii*. *Journal of*

Degraded and Mining Lands Management, 12(1), 6849–6864.
<https://doi.org/10.15243/jdmlm.2024.121.6849>

- Saffan, M. M., Koriem, M. A., El-Henawy, A., El-Mahdy, S., El-Ramady, H., Elbehiry, F., Omara, A. E. D., Bayoumi, Y., Badgar, K., & Prokisch, J. (2022). Sustainable Production of Tomato Plants (*Solanum lycopersicum* L.) under Low-Quality Irrigation Water as Affected by Bio-Nanofertilizers of Selenium and Copper. *Sustainability (Switzerland)*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/su14063236>
- Sakib, T. U., Nelson, N. O., Hettiarachchi, G. M., Moorberg, C. J., Nippert, J. B., & Whitaker, S. (2025). Soil phosphorus availability as affected by root exudates of cover crop species. *Scientific Reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-19102-7>
- Saptana, Sukmaya, S. G., Perwita, A. D., Malihah, F. D., Wardhana, I. W., Pitaloka, A. D., Ghaisani, S. A., Sayaka, B., Ilham, N., Karmawati, E., Ariani, M., Susilowati, S. H., Sumaryanto, & Saliem, H. P. (2023). Competitiveness analysis of fresh tomatoes in Indonesia: Turning comparative advantage into competitive advantage. *PLoS ONE*, 18(11 November). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0294980>
- Schmidt, H. P., Kammann, C., Hagemann, N., Leifeld, J., Bucheli, T. D., Sánchez Monedero, M. A., & Cayuela, M. L. (2021). Biochar in agriculture – A systematic review of 26 global meta-analyses. In *GCB Bioenergy* (Vol. 13, Number 11, pp. 1708–1730). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12889>
- Selvarajh, G., Ch'ng, H. Y., Md Zain, N., Seong Wei, L., Liew, J. Y., Mohammad Azmin, S. N. H., Naher, L., Abdullah, P. S., Ahmed, O. H., Jalloh, M. B., & Damrongrak, I. (2024). Enriched rice husk biochar superior to commercial biochar in ameliorating ammonia loss from urea fertilizer and improving plant uptake. *Heliyon*, 10(11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32080>
- Song, S., Ren, K., Zhang, W., & Song, P. (2025). Biochar and microorganisms combined enhance crop growth and soil properties: Evidence from meta-analysis. *Agricultural Water Management*, 321. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109908>
- Stein, B. B., Duarte, S. N., Freire, M. M., Nascimento, L. F. da S., Jacomino, A. P., Costa, J. de O., & Coelho, R. D. (2024). Production and Harvest Quality of Tomato Fruit Cultivated Under Different Water Replacement Levels and Photoprotector Strategies. *AgriEngineering*, 6(4), 4372–4383. <https://doi.org/10.3390/agriengineering6040247>
- Stępień, K., Stępień, P., & Gediga, K. (2025). Effect of variable phosphorus availability on root mechanisms involved in mobilization of the soil P in three lupine species. *Scientific Reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-03694-1>
- Sun, Z., Hu, Y., Shi, L., Li, G., Pang, Z., Liu, S., Chen, Y., & Jia, B. (2022). Effects

- of biochar on soil chemical properties: A global meta-analysis of agricultural soil. *Plant, Soil and Environment*, 68(6), 272–289. <https://doi.org/10.17221/522/2021-PSE>
- Syamsiah, J., Herawati, A., Mujiyo, M., Widijanto, H., Pangastuti, T. S., & Putri, E. F. (2025). Change of Sandy Soil Chemical Properties with Azolla microphylla and Quail Manure. *JOURNAL OF TROPICAL SOILS*, 30(3), 147–158. <https://doi.org/10.5400/jts.2025.v30i3.147-158>
- Tang, K. H. D. (2025). Biochar Amendments for Soil Restoration: Impacts on Nutrient Dynamics and Microbial Activity. In *Environments - MDPI* (Vol. 12, Number 11). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/environments12110425>
- Tang, R., Qiu, S., Wu, C., & Tan, J. (2025). Biochar: from agricultural waste byproducts to novel adsorbents for ammonia and micro/nanoplastics (MNPs). *Biochar*, 7(1). <https://doi.org/10.1007/s42773-025-00554-z>
- Thipraksa, J., & Chaijak, P. (2022). Improved the coconut shell biochar properties for bio-electricity generation of microbial fuel cells from synthetic wastewater. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 9(4), 3613–3619. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2022.094.3613>
- Tian, L., Shao, G., Gao, Y., Song, E., & Lu, J. (2024). Effects of Biochar on Soil Organic Carbon in Relation to Soil Nutrient Contents, Climate Zones and Cropping Systems: A Chinese Meta-Analysis. *Land*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/land13101608>
- Tusar, H. M., Uddin, M. K., Mia, S., Suhi, A. A., Wahid, S. B. A., Kasim, S., Sairi, N. A., Alam, Z., & Anwar, F. (2023). Biochar-Acid Soil Interactions—A Review. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 15, Number 18). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/su151813366>
- Udomkun, P., Rupngam, T., Müller, J., Boonupara, T., & Kaewlom, P. (2026). Effects of plant-waste-derived biochars on soil properties, biochemical composition, and sensory quality of water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk.). *Journal of Agriculture and Food Research*, 25. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102550>
- Widowati, W., Nursia, A., & Fikrinda, W. (2024). Efek Sinergi Biochar-Kompos Pada Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.) DI SAWAH. *Jurnal Agrotek Tropika*, 12(3). <https://doi.org/10.23960/jat.v12i3.7632>
- Wijitkosum, S., Sriburi, T., & Chutivisut, P. (2025). Biochar amendment improves soil properties and augments soil bacteria on continuous maize cultivation over two years. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 22(13), 12349–12362. <https://doi.org/10.1007/s13762-025-06484-4>
- Wu, B., Zhang, M., Zhai, Z., Dai, H., Yang, M., Zhang, Y., & Liang, T. (2024). Soil organic carbon, carbon fractions, and microbial community under various organic amendments. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-75771-w>

- 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*(4). <https://doi.org/10.7717/peerj.17231>
- Xing, Y., Zhang, X., & Wang, X. (2024). Enhancing soil health and crop yields through water-fertilizer coupling technology. In *Frontiers in Sustainable Food Systems* (Vol. 8). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1494819>
- XU, L., YU, Q., BAI, S., WANG, M., SUN, W., XU, S., SHI, X., LU, J., XIE, X., & QIU, W. (2024). Soil organic carbon impact on soil physical properties through quantity and quality modifications. *Soil Advances*, *2*, 100014. <https://doi.org/10.1016/j.soilad.2024.100014>
- Yao, J., Wang, X., Hong, M., Gao, H., & Zhao, S. (2025). Response of soil pH to biochar application in farmland across China: a meta-analysis. *PeerJ*, *13*(4). <https://doi.org/10.7717/peerj.19400>
- Ye, Z., Zhang, H., Lin, X., Huang, S., Zou, S., & Zou, X. (2024). Effect of Biochar Using N, P, and K Fertilisers on Growth and Quality of *Lithocarpus litseifolius*. *Agronomy*, *14*(4). <https://doi.org/10.3390/agronomy14040728>
- Yulnafatmawita, Y., Yasin, S., & Maira, L. (2023). Role of Rice Husk Biochar in Improving Soil Physical Properties of ex Gold-Mined Soil. *JOURNAL OF TROPICAL SOILS*, *28*(3), 127–133. <https://doi.org/10.5400/jts.2023.v28i3.127-133>
- Zelege, Y. G., Haile, A., Kiflu, A., & Alemayehu, H. (2024). Morphological and physiological plasticity of tomato in response to Azolla fern, a novel organic fertilizer of environmentally friendliness. *Heliyon*, *10*(20). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39110>
- Zhu, Z., Zhang, Y., Tao, W., Zhang, X., Xu, Z., & Xu, C. (2025). The Biological Effects of Biochar on Soil's Physical and Chemical Characteristics: A Review. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 17, Number 5). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/su17052214>
- Zou, G., Zhao, F., Lan, X., Nawaz, M., & Shohag, J. I. (2024). Role of Coconut Shell Biochar on Soil Properties, Microbial Diversity and Nitrogen Mineralization in Tropical Latosol. *Polish Journal of Environmental Studies*, *33*(2), 1487–1496. <https://doi.org/10.15244/pjoes/174014>