

PENINGKATAN KEMANDIRIAN PETANI MELALUI SOSIALISASI KONVERSI BIOMASSA PASCAPANEN MENJADI PUPUK ORGANIK PADA KELOMPOK TANI SUKA MAJU

Efriyana Oksal^{1*}, Yanetri Asi Nion², Abdul Hadjranul Fatah³,
Chuchita⁴, Zimon Pereiz⁵, Rokiy Alfanaar⁶, Azmi Malya Zaki⁷,
Alvin Sienna Atviaputra⁸, Ahmad Rifai Hasibuan⁸

^{1,4,5,6,7,8}Program Studi Kimia, Universitas Palangka Raya

²Program Studi Pertanian, Universitas Palangka Raya

³Program Studi Pendidikan Kimia, Universitas Palangka Raya

⁹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Palangka Raya

efriyana.oksal18@mipa.upr.ac.id

ABSTRAK

Abstrak: Tanah rawa gambut di wilayah Kelompok Tani Suka Maju memiliki tingkat keasaman tinggi dan daya ikat hara rendah, yang menjadi masalah produktivitas pertanian. Pengabdian ini bertujuan untuk memberikan solusi melalui sosialisasi konversi biomassa pascapanen menjadi pupuk biochar sebagai pupuk organik alternatif. Kegiatan dilaksanakan melalui penyuluhan, dan workshop dari tim ahli yang melibatkan kelompok tani sebagai mitra, dengan jumlah peserta sebanyak 25 orang. Evaluasi dilakukan melalui pre-test dan post-test. Hasil menunjukkan peningkatan pengetahuan biochar peserta sebesar 90%, peningkatan fungsi biochar 80%, serta jenis limbah biomassa untuk biochar 80%. Inovasi ini dinilai mampu memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas tukar kation, serta mendukung praktik pertanian berkelanjutan di lahan gambut.

Kata Kunci: Pupuk Alternatif; Pertanian Berkelanjutan; Biomassa Pascapanen; Biochar; Pirolisis.

Abstract: The peat swamp soils in the Suka Maju Farmer Group area are highly acidic and have low nutrient retention, limiting agricultural productivity. This community service program aims to address the issue by promoting the conversion of post-harvest biomass into biochar as an alternative organic fertilizer. The activities included socialization, and workshops, involving farmer group as a mitra. The results showed an increase in participants' biochar knowledge by 90%, an increase in biochar function by 80%, and an increase in the type of biomass waste for biochar by 80%. This innovation is proven to improve soil structure, enhance cation exchange capacity, and support sustainable farming practices on peatlands.

Keywords: Alternative Fertilizers; Sustainable Agriculture; Post-Harvest Biomass; Biochar; Pyrolysis.



Article History:

Received: 25-08-2025

Revised : 06-09-2025

Accepted: 10-09-2025

Online : 10-10-2025



This is an open access article under the
CC-BY-SA license

A. LATAR BELAKANG

Pertanian berkelanjutan saat ini menjadi isu global yang semakin mendesak, terutama dalam menghadapi tantangan perubahan iklim, degradasi lahan, dan ketergantungan terhadap input sintetis seperti pupuk kimia. Lahan marginal seperti tanah rawa gambut, yang banyak ditemukan di Asia Tenggara termasuk Indonesia, memiliki kendala serius dalam hal produktivitas akibat tingkat keasaman tinggi dan rendahnya kapasitas tukar kation. Menurut FAO (2021), lebih dari 20% lahan pertanian di dunia mengalami penurunan produktivitas akibat kerusakan tanah, dan konversi biomassa menjadi pupuk organik merupakan salah satu solusi berbasis ekosistem yang tengah dikembangkan.

Kelompok Tani Suka Maju yang berlokasi di kawasan lahan gambut menghadapi permasalahan klasik, salah satunya adalah keterbatasan dalam pengadaan pupuk secara mandiri untuk menunjang kegiatan budidaya. Ketergantungan terhadap pupuk kimia menyebabkan biaya produksi pertanian semakin tinggi, sehingga menurunkan efisiensi usaha tani dan berpengaruh terhadap pendapatan petani. Sementara itu, di lingkungan sekitar kelompok tani, ketersediaan limbah biomassa pascapanen relatif melimpah, seperti jerami, batang tanaman, maupun sisa hasil pertanian lainnya, namun belum dimanfaatkan secara optimal. Padahal, biomassa tersebut berpotensi besar untuk diolah kembali menjadi pupuk organik yang memiliki nilai tambah, ramah lingkungan, serta lebih ekonomis. Menyadari kondisi tersebut, tim pengabdian masyarakat memberikan perhatian dengan melaksanakan kegiatan berupa sosialisasi awal kepada mitra, yang bertujuan meningkatkan pemahaman petani tentang peluang pemanfaatan biomassa lokal sebagai alternatif pupuk organik berbasis biochar.

Mitra kegiatan, yaitu Kelompok Tani Suka Maju yang berlokasi di wilayah dengan dominasi lahan gambut, masih menghadapi sejumlah persoalan mendasar terkait rendahnya hasil panen dan keberlanjutan usaha tani. Permasalahan utama yang dihadapi petani antara lain: (1) kondisi tanah gambut yang secara alami bersifat asam, miskin hara, serta memiliki daya ikat unsur hara yang rendah sehingga menyebabkan kesuburan tanah cepat menurun, (2) tingginya ketergantungan terhadap pupuk kimia yang selain membutuhkan biaya besar juga berimplikasi negatif terhadap kesehatan tanah dan lingkungan, (3) belum adanya upaya inovatif untuk mengolah limbah biomassa pascapanen yang jumlahnya cukup melimpah di sekitar area pertanian, serta (4) pengetahuan dan keterampilan petani dalam mengelola bahan organik menjadi pupuk yang berkualitas dan ramah lingkungan. Kompleksitas permasalahan tersebut menjadi dasar urgensi dilaksanakannya program pengabdian kepada masyarakat yang berfokus pada penyediaan solusi inovatif, aplikatif, serta sesuai dengan kondisi lokal, yaitu melalui sosialisasi dan pelatihan pemanfaatan biomassa menjadi pupuk organik berbasis biochar..

Biochar merupakan hasil pirolisis yang dihasilkan dari pembakaran biomassa (Kung et al., 2015; Tuti Ariani Bawamenewi et al., 2025). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa biochar dari biomassa pascapanen terbukti efektif memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan efisiensi pemupukan. Penelitian oleh Alianti et al. (2016) menyatakan bahwa aplikasi biochar dari limbah pertanian di lahan gambut mampu meningkatkan pH tanah dari tanah gambut dari 3,41 menjadi 5,96 (Alianti et al., 2016). Selain itu, Biochar dapat meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah dengan cara menyediakan habitat serta substrat karbon yang stabil untuk mendukung pertumbuhan mikroba, sehingga dapat meningkatkan hasil panen sebesar 20% pada lahan marginal (Amalina et al., 2024). Beberapa penelitian telah membuktikan penggunaan bahwa biochar dapat meningkatkan hasil tanaman timun sebesar 20% (Karlina, 2012), meningkatkan hasil bawang merah 25% (Antonius et al., 2018) dan meningkatkan produktivitas tebu (Putra et al., 2024). Selanjutnya penambahan biochar pada petani di Marauke mungkin meningkatkan pendapatan petani dengan hasil panen lebih produktif dan mengurangi biaya penggunaan pupuk kimia (Widiastuti, 2016).

Kebijakan pemerintah sebagaimana tercantum dalam Peraturan Menteri Pertanian Nomor 70/Permentan/Sr.140/10/2011 tentang Pupuk Organik, Pupuk Hayati, dan Pembena Tanah menekankan urgensi pemanfaatan sumber daya lokal sebagai instrumen strategis untuk mendukung ketahanan pangan berkelanjutan sekaligus menjaga kelestarian lingkungan. Regulasi tersebut memberikan legitimasi sekaligus arah normatif bagi pengembangan teknologi dan praktik pertanian yang ramah lingkungan, termasuk pada ekosistem lahan gambut yang memiliki kerentanan tinggi terhadap degradasi. Salah satu alternatif yang relevan dengan kebijakan ini adalah pemanfaatan biochar. Biochar telah diidentifikasi sebagai material pembena tanah yang mampu meningkatkan kualitas fisik, kimia, dan biologi tanah, berfungsi sebagai penyimpan karbon jangka panjang, serta berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim. Dengan demikian, penerapan biochar tidak hanya mendukung produktivitas pertanian, tetapi juga sejalan dengan agenda pembangunan pertanian berkelanjutan di tingkat nasional (Sarwono, 2016).

Teknologi yang digunakan untuk meningkatkan produksi pertanian sudah ada sejak lama, bahkan sejalan dengan sejarah perkembangan pertanian itu sendiri (Fitzpatrick et al., 2025). Selama lebih dari 150 tahun, biochar telah digunakan di lahan pertanian sebagai produk sampingan dari memasak atau sebagai hasil dari pirolisis kayu yang disengaja (Schmidt et al., 2021). Pemanfaatan biochar di dunia pertanian masih banyak yang dapat di kaji, inovasi dan evaluasi (Geonadi & dan Santi, 2017), mulai dari pengaruh aplikasinya biochar terhadap lingkungan (Mehmood et al., 2017), dan terhadap keragaan tanaman (Brennan et al., 2014).

Aplikasi biochar pada pertanian dapat memperbaiki sifat tanah dan agronomi tanaman sehingga meningkatkan hasil panen (Hussain et al., 2017). Sejalan dengan temuan tersebut, solusi yang ditawarkan melalui program ini adalah pemanfaatan limbah biomassa pascapanen dengan cara mengkonversinya menjadi pupuk biochar organik. Pendekatan ini tidak hanya menekankan aspek teknis, tetapi juga dilaksanakan melalui pelatihan partisipatif dan praktik langsung di lapangan, sehingga petani dapat memperoleh keterampilan aplikatif yang berkelanjutan. Rangkaian kegiatan mencakup sosialisasi mengenai konsep dasar dan manfaat biochar, serta demonstrasi penerapannya pada berbagai jenis tanaman budidaya. Implementasi program ini diharapkan dapat meningkatkan pengetahuan petani, memperluas pemanfaatan limbah pertanian, serta secara signifikan mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia yang berimplikasi pada efisiensi biaya dan keberlanjutan lingkungan.

Dengan demikian, tujuan utama dari kegiatan pengabdian ini adalah meningkatkan kapasitas, keterampilan, serta kemandirian petani dalam memanfaatkan dan mengelola biomassa lokal melalui konversi menjadi pupuk organik berbasis biochar. Melalui pendekatan ini, diharapkan produktivitas pertanian pada lahan gambut dapat ditingkatkan secara berkelanjutan, efisien, dan ekonomis, sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap input sintesis yang berpotensi merusak lingkungan. Selain berorientasi pada peningkatan hasil pertanian, kegiatan ini juga diarahkan untuk memperkuat sinergi antara perguruan tinggi dan masyarakat sebagai mitra strategis dalam implementasi inovasi pertanian ramah lingkungan. Kolaborasi tersebut tidak hanya berfungsi sebagai sarana transfer teknologi, tetapi juga sebagai upaya memperkaya pengetahuan lokal dengan basis ilmiah, sehingga mampu menghasilkan model pengelolaan lahan gambut yang adaptif, aplikatif, dan berdaya guna bagi pembangunan pertanian berkelanjutan di wilayah setempat.

B. METODE PELAKSANAAN

Pengabdian masyarakat ini dilaksanakan oleh tim dosen dari bidang keahlian kimia, biokimia, dan pertanian, yang berkolaborasi dalam merancang dan menyampaikan materi sosialisasi. Pada kegiatan ini disampaikan dua materi langsung dari tim pengabdian secara persentasi dan peserta/mitra dapat mengembangkan pengetahuan yang disampaikan melalui forum diskusi setelah persentasi oleh tim PKM. Kegiatan ini dibantu oleh mahasiswa. Mahasiswa berperan sebagai pendamping teknis, membantu dokumentasi, serta membangun komunikasi antara tim pengabdian dan peserta kegiatan. Kegiatan ini melibatkan mitra dari Kelompok Tani Suka Maju. Kegiatan ini diikuti sebanyak 25 peserta.

Kegiatan dilaksanakan dalam dua tahap utama: pra-kegiatan dan pelaksanaan inti. Pada tahap pra-kegiatan dilakukan koordinasi antara tim PKM dan Mitra. Tim PKM melakukan rapat awal dengan mitra, untuk

menentukan survei lokasi sosialisasi dan pendataan peserta, selanjutnya tim PKM melakukan penyusunan materi sosialisasi melalui pemaparan dan diskusi. Selanjutnya pada pelaksanaan inti dilakukan sosialisasi dengan memaparkan dua materi secara persentasi oleh tim PKM. Sebelum kegiatan sosialisasi dilakukan, tim PKM menyebarkan soal Pretest, dan setelah kegiatan sosialisasi Tim PKM membuat forum diskusi dan menyebarkan soal posttest kembali. Observasi partisipatif digunakan untuk menilai keterlibatan dan pemahaman peserta terhadap materi. Evaluasi pasca kegiatan dilakukan dengan membandingkan pemahaman pengetahuan peserta dari soal pretest dan posttest dan wawancara singkat kepada peserta untuk mengukur peningkatan pengetahuan, relevansi materi, dan potensi penerapan di lahan mereka (Adri, 2020). Soal pretest dan posttest merupakan soal pilihan ganda. Dengan pendekatan edukatif melalui sosialisasi dan workshop tanpa praktik langsung, kegiatan ini tetap bertujuan meningkatkan pemahaman petani terhadap konsep, manfaat, dan peluang penerapan pupuk biochar, sebagai solusi alternatif ramah lingkungan untuk lahan gambut.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Tahap Pra Pelaksanaan

Tahapan pra pelaksanaan dimulai dengan koordinasi awal antara Tim PKM dan mitra, yaitu Kelompok Tani Suka Maju. Pada tahap ini, tim melakukan rapat persiapan untuk menyamakan persepsi sekaligus merumuskan agenda kegiatan yang akan dilaksanakan. Koordinasi awal tersebut menghasilkan kesepakatan mengenai penentuan lokasi dan waktu sosialisasi serta pendataan calon peserta kegiatan agar pelaksanaan dapat berlangsung tepat sasaran. Setelah itu, Tim PKM menyusun materi sosialisasi yang dirancang sesuai dengan kebutuhan mitra, mencakup pengenalan konsep dasar biochar yang membahas teknik inovasi konversi biomassa menjadi biochar plus sebagai pupuk organik serta aplikasi dan manfaat biochar bagi perbaikan tanah gambut dan tanaman. Penyusunan materi dilakukan secara kolaboratif melalui pemaparan ilmiah dan diskusi internal tim, sehingga diperoleh bahan sosialisasi yang komprehensif, aplikatif, dan mudah dipahami oleh peserta kegiatan, seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tim PKM melakukan tahap diskusi awal kepada mitra untuk mendata peserta dan agenda kegiatan sosialisasi (Dokumentasi Tim, 2025)

2. Tahap Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan kegiatan pengabdian masyarakat dilaksanakan melalui dua materi utama yang disesuaikan dengan kebutuhan mitra, seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. sesi penyampaian materi oleh tim dosen (Dokumentasi Tim, 2025)

a. Kegiatan PKM: Pengenalan dan Pembuatan Biochar dari Limbah Biomassa

Materi pertama berfokus pada pengenalan konsep biochar serta praktik pembuatan biochar dari limbah biomassa pascapanen, melalui ilustrasi ppt dan video, sehingga peserta memperoleh pemahaman sekaligus keterampilan teknis dalam mengolah limbah pertanian menjadi produk yang lebih bermanfaat. Selanjutnya, disampaikan konsep biochar sebagai solusi yang dapat membantu memperbaiki kualitas tanah gambut. Biochar diperkenalkan sebagai hasil konversi biomassa pascapanen melalui proses pirolisis, yang memiliki keunggulan dalam menyerap air, mempertahankan hara, dan menetralkan pH tanah. Kegiatan ini berhasil menarik perhatian petani karena materi yang disampaikan sangat kontekstual dengan pengalaman mereka di lahan. Diskusi interaktif muncul ketika peserta membandingkan efektivitas pupuk kimia yang biasa digunakan dengan potensi biochar.

b. Pemanfaatan Biochar Sebagai Pupuk pada Tanaman

Materi kedua dilanjutkan dengan pemanfaatan biochar pada tanaman, penyampaian pengetahuan teknis pembuatan dan penggunaan biochar disampaikan oleh dosen dari bidang biokimia dan pertanian, serta dibantu oleh mahasiswa dengan metode diskusi dan FGD. Materi mencakup jenis biomassa pascapanen yang bisa dimanfaatkan (jerami padi, batang jagung, sabut kelapa), prinsip dasar pirolisis, serta cara penggunaan biochar sebagai pembenah tanah. Karena kegiatan ini tidak mencakup praktik langsung, maka penjelasan diberikan melalui slide presentasi serta video demonstratif.

Proses sosialisasi dilakukan melalui metode presentasi interaktif yang disertai dengan pretest dan posttest untuk mengukur peningkatan pengetahuan peserta. Selain itu, kegiatan juga dilengkapi dengan sesi diskusi terbuka yang melibatkan partisipasi aktif petani, sehingga memungkinkan terjadinya pertukaran pengalaman, klarifikasi terhadap permasalahan teknis, dan penguatan pemahaman konsep. Dengan pendekatan ini, diharapkan peserta tidak hanya memperoleh informasi, tetapi juga mampu menginternalisasi dan mengaplikasikan pengetahuan dalam praktik pertanian sehari-hari.

3. Monitoring dan Evaluasi

Tahap evaluasi kegiatan dilakukan dengan menggunakan instrumen pretest dan posttest untuk mengukur peningkatan pengetahuan serta pemahaman peserta terhadap materi yang telah disampaikan. Hasil evaluasi menunjukkan sejauh mana efektivitas metode sosialisasi dalam meningkatkan kapasitas petani, khususnya terkait pengenalan konsep biochar, teknik pembuatannya, serta aplikasinya pada lahan gambut. Selain evaluasi berbasis tes, tim juga melakukan observasi langsung terhadap partisipasi dan keterlibatan aktif peserta selama kegiatan, serta memberikan ruang refleksi melalui diskusi penutup. Hasil pretest dan posttest menunjukkan peningkatan pemahaman peserta sebesar 50%. Sebelumnya, hanya 40% peserta yang mengetahui biochar, sementara setelah kegiatan, 90% peserta dapat menjelaskan kembali konsep dasar biochar dan fungsinya.

Hasil ini menunjukkan bahwa transfer pengetahuan melalui metode sosialisasi dan workshop cukup efektif, meskipun tanpa praktik langsung. Pemahaman meningkat signifikan terutama pada aspek fungsi biochar terhadap pH tanah dan efisiensi pupuk. Adapun tindak lanjut dari kegiatan ini dirancang dalam bentuk pendampingan berkelanjutan, yaitu dengan membuka akses komunikasi antara tim PKM dan kelompok tani untuk konsultasi teknis, serta rencana pelatihan lanjutan yang lebih aplikatif terkait produksi biochar dalam skala lapangan. Melalui pendekatan ini, diharapkan inovasi yang diperkenalkan tidak hanya berhenti pada tahap sosialisasi, tetapi dapat terus diimplementasikan dan dikembangkan oleh

mitra secara mandiri. Mitra yang terdiri dari petani aktif yang mengelola lahan gambut mendapatkan informasi dan pemahaman mengenai alternatif pupuk organik seperti biochar yang sesuai untuk kondisi tanah mereka. Dimana tanah tempat mereka Bertani Adalah tanah gambut, seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Evaluasi Pemahaman Peserta Sebelum dan Sesudah Kegiatan

Kriteria Evaluasi	Sebelum Kegiatan	Sesudah Kegiatan
Mengetahui apa itu biochar	40%	90%
Memahami fungsi biochar di tanah gambut	40%	80%
Mengetahui biomassa lokal untuk biochar	30%	80%

4. Kendala yang Dihadapi dan Solusi

Selama pelaksanaan kegiatan, kendala utama adalah keterbatasan waktu dan tidak adanya praktik langsung, sehingga beberapa peserta menyatakan masih kurang yakin dalam aspek teknis pembuatan biochar. Selain itu, keterbatasan alat pirolisis di tingkat petani menjadi tantangan tersendiri untuk penerapan di lapangan. Solusi yang diusulkan antara lain adalah pelaksanaan tahap lanjutan berupa pelatihan praktik dengan demonstrasi alat pirolisis skala kecil serta pendampingan penerapan langsung di lahan petani. Tim pengabdian juga mempertimbangkan untuk mengembangkan modul sederhana dan video tutorial mandiri sebagai tindak lanjut kegiatan.

D. SIMPULAN DAN SARAN

Kegiatan pengabdian masyarakat melalui sosialisasi dan workshop mengenai konversi biomassa pascapanen menjadi pupuk biochar pada Kelompok Tani Suka Maju berhasil mencapai tujuan utama, yaitu meningkatkan pengetahuan dan kesadaran petani dalam memanfaatkan limbah pertanian sebagai sumber pupuk organik alternatif untuk lahan gambut. Hasil evaluasi menunjukkan adanya peningkatan signifikan dalam aspek pemahaman teknis peserta terhadap konsep dan fungsi biochar sebesar 80%-90%, hal tersebut juga terlihat dari partisipasi aktif, rasa ingin tahu, serta kemampuan berdiskusi dan bekerja sama dalam kegiatan kelompok. Meskipun belum mencakup praktik langsung, kegiatan ini telah memberikan landasan awal yang kuat untuk penerapan teknologi biochar di tingkat petani.

Peningkatan pengetahuan hingga 80%–90% tersebut menjadi landasan penting untuk mengarahkan tahap implementasi praktis di lapangan. Oleh karena itu, tindak lanjut pengabdian perlu difokuskan pada praktik langsung pembuatan biochar dengan alat sederhana dan pendampingan penerapannya di lahan pertanian mitra agar keterampilan teknis petani dapat terbangun secara nyata. Selanjutnya, arah penelitian dianjurkan

untuk menguji efektivitas berbagai jenis biomassa lokal sebagai bahan baku biochar pada tipe tanah marginal yang berbeda, sehingga manfaat biochar semakin luas dan terukur dalam mendukung pertanian berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Republik Indonesia (Kemendikdisaintek) yang telah mendanai kegiatan pengabdian masyarakat ini sehingga terlaksana dengan baik dengan skema Pemberdayaan Kemitraan Masyarakat.

DAFTAR RUJUKAN

- Adri, R. F. (2020). Pengaruh Pre-Test Terhadap Tingkat Pemahaman Mahasiswa Program Studi Ilmu Politik Pada Mata Kuliah Ilmu Alamiah Dasar. *Menara Ilmu : Jurnal Penelitian Dan Kajian Ilmiah*, 1(XIV), 81–85.
- Alianti, Y., Zubaidah, S., & Saraswati, D. (2016). Tanggapan tanaman tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill.) terhadap pemberian biochar dan pupuk hayati pada tanah gambut. *Jurnal AGRI PEAT*, 17(2), 115–125.
- Amalina, A. D., Yuliyanti, P. D., Putra, E. R., Ni'mah, R. I., & Azizah, L. (2024). Peran biochar dalam meningkatkan kesuburan tanah dan retensi udara. *Hibrida: Jurnal Pertanian, Peternakan, Perikanan*, 2(2), 81–90.
- Antonius, S., Dwi Sahputra, R., Nuraini, Y., & Kumala Dewi, T. (2018). Manfaat Pupuk Organik Hayati, Kompos dan Biochar pada Pertumbuhan Bawang Merah dan Pengaruhnya terhadap Biokimia Tanah Pada Percobaan Pot Menggunakan Tanah Ultisol. *Jurnal Biologi Indonesia*, 14(2), 234–250. <https://doi.org/10.47349/jbi/14022018/243>
- Brennan, A., Jiménez, E. M., Puschenreiter, M., Albuquerque, J. A., & Switzer, C. (2014). Effects of biochar amendment on root traits and contaminant availability of maize plants in a copper and arsenic impacted soil. *Plant and Soil*, 379(1–2), 351–360. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2074-0>
- Fitzpatrick, G. E., Worden, E. C., & Vendrame, W. A. (2025). Historical development of composting technology during the 20th century. *HortTechnology*, 15(1), 48. <https://doi.org/10.2307/jj.30297148.16>
- Geonadi, D. H., & dan Santi, L. P. (2017). Kontroversi Aplikasi dan Standar Mutu Biochar. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 11(1), 23–32.
- Hussain, M., Farooq, M., Nawaz, A., M., A. A.-S., Solaiman, Z. M., S., S. A., Ammara, U., Ok, Y. S., & Siddique, K. H. M. (2017). Biochar for Crop Production: Potential Benefits and Risks. *Journal of Soils and Sediments*, 17(3), 685–716. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11368-016-1360-2>
- Karlina, E. (2012). *Penggunaan sirsak tembakau dan biochar untuk menekan intensitas serangan hama Bactrocera curbitaecoq. dan meningkatkan produksi tanaman mentimun (Cucumissativus L.) pada tanah gambut*. Universitas Palangka Raya.
- Kung, C.-C., Kong, F., & Choi, Y. (2015). Pyrolysis and biochar potential using crop residues and agricultural wastes in China. *Ecological Indicators*, 51, 139–145. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.06.043>
- Mehmood, K., Chávez Garcia, E., Schirrmann, M., Ladd, B., Kammann, C., Wrage-Mönnig, N., Siebe, C., Estavillo, J. M., Fuertes-Mendizabal, T., Cayuela, M., Sigua, G., Spokas, K., Cowie, A. L., Novak, J., Ippolito, J. A., & Borchard, N. (2017). Biochar research activities and their relation to development and environmental quality. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(3). <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0430-1>
- Putra, R. P., Dewi, V. A. K., Ranomahera, M. R. R., Arini, N., & Haris, A. (2024). a

- Review: the Utilization of Biochar To Improve Soil Quality and. *Jurnal Pertanian*, 26(2), 754–768.
- Sarwono, R. (2016). Biochar Sebagai Penyimpan Karbon, Perbaiki Sifat Tanah, dan Mencegah Pemanasan Global: Tinjauan. *Jurnal Kimia Terapan Indonesia*, 18(01), 79–90. <https://doi.org/10.14203/jkti.v18i01.44>
- Schmidt, H., 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. *GCB Bioenergy*, 13(11), 1708–1730. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12889>
- Tuti Ariani Bawamenewi, Friska Hastika Gea, & Septenius Waruwu. (2025). Penggunaan Biochar untuk Meningkatkan Kualitas Tanah pada Sistem Pertanian Berkelanjutan. *Hidroponik : Jurnal Ilmu Pertanian Dan Teknologi Dalam Ilmu Tanaman*, 2(1), 179–187. <https://doi.org/10.62951/hidroponik.v2i1.257>
- Widiastuti, M. M. D. (2016). Analisis Manfaat Biaya Biochar Di Lahan Pertanian Untuk Meningkatkan Pendapatan Petani Di Kabupaten Merauke. *Jurnal Penelitian Sosial Dan Ekonomi Kehutanan*, 13(2), 135–143.