



Pemberdayaan Petani dalam Memproduksi Biochar Sebagai Media Tanam di Kelurahan Lalodati Kecamatan Puwatu, Kota Kendari

Syamsu Alam^{1,*}, M Tufaila Hemon¹, Sahta Ginting¹, La Ode Santiaji Bande¹, Mahyudi¹, Fikram¹

¹ Fakultas Pertanian Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia

INFO ARTIKEL

Kata Kunci:

Biochar
Pemberdayaan Petani
Arang Bambu
Kelompok Tani

** Korespondensi:*

Fakultas Pertanian Universitas
Halu Oleo, Kendari, Indonesia

e-mail:

alamhaluoleo@gmail.com

Riwayat Artikel.

Dikirim : 18 Agustus 2023
Direvisi : 12 Januari 2024
Disetujui : 20 Januari 2024

ABSTRAK

Biochar dapat diproduksi dari limbah pertanian, sampah rumah tangga atau sampah kota. Bahan baku produk ini tersedia melimpah di lingkungan masyarakat Lalodati. Permasalahan yang ditemui pada perkebunan masyarakat Lalodati ialah limbah tanaman bambu yang belum dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar. Limbah tersebut berpotensi diolah menjadi produk bernilai ekonomi seperti biochar yang dapat menjadi solusi guna meningkatkan kesejahteraan petani serta mengatasi masalah lingkungan. Olehnya itu, diperlukan usaha diversifikasi pemanfaatan produk samping menjadi produk berupa biochar untuk meningkatkan omzet masyarakat dan produktivitas lahan usaha taninya. Solusi untuk menangani permasalahan ini melalui program kemitraan masyarakat berupa: 1) pelatihan dan pendampingan untuk meningkatkan pengetahuan masyarakat terkait pembuatan biochar; 2) pendampingan dan demonstrasi pembuatan biochar dan aplikasinya ke tanah/tanaman. Langkah-langkah melaksanakan solusi dimulai (1) sosialisasi; (2) pelatihan; dan (3) demplot pembuatan dan aplikasi biochar. Kegiatan ini difokuskan pada Kelompok Tani Kelurahan Lalodati bersama mitra pengguna yaitu pelaku usaha tanaman hias pada Kelurahan Tobuha, Kecamatan Puuwatu, Kota Kendari. Hasil yang dicapai ialah peningkatan kapasitas masyarakat dalam menguasai konsep, pembuatan dan teknik aplikasi biochar dari bahan bambu menggunakan teknologi sederhana. Kelompok tani/masyarakat Kelurahan Lalodati dan mitra kegiatan dapat memanfaatkan produk tersebut sebagai pupuk ramah lingkungan, meningkatkan produktivitas lahan dan efisiensi usaha tani.

PENDAHULUAN

Peningkatan populasi, industrialisasi, dan urbanisasi menghasilkan limbah organik dalam jumlah besar, termasuk limbah pertanian dan limbah kehutanan. Sebagian dari limbah pertanian dan kehutanan telah digunakan dalam kegiatan domestik dan pertanian seperti pakan ternak, pembuatan kompos, dan produksi biogas. Namun, sebagian besar dibuang dengan cara dibakar atau dibuang ke tempat pembuangan akhir (TPA) yang mengakibatkan pencemaran udara, air, dan tanah. Oleh karena itu, beberapa peneliti merekomendasikan pengomposan sampah organik. Namun, tingkat degradasi yang lambat dan operasi yang melelahkan membuatnya menjadi pilihan yang tidak menarik. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah organik untuk produksi biochar dapat menawarkan solusi untuk masalah yang ada (Gabhane et al., 2020).

Hilangnya kesuburan tanah merupakan masalah yang signifikan bagi

produksi tanaman. Penggunaan pupuk kimia yang berlebihan ditambah dengan produksi tanaman yang intensif disertai penggunaan pupuk organik yang lebih sedikit merupakan penyebab utama menurunnya kesuburan tanah (Baquy et al., 2022). Ketidakseimbangan unsur hara dan penurunan kandungan bahan organik tanah telah mengakibatkan penipisan kesuburan tanah yang serius, sehingga mengurangi produktivitas pertanian di sebagian besar lahan pertanian tropis (Agegnehu et al., 2017; Purwanto & Alam, 2020).

Menipisnya unsur hara tanah merupakan masalah penting, yang secara langsung terkait dengan kerawanan pangan karena penggunaan lahan intensif yang tidak berkelanjutan. Degradasi tanah merupakan kendala biofisik paling serius yang membatasi produktivitas pertanian di berbagai belahan dunia (Casini et al., 2021). Mempertahankan level bahan organik tanah yang sesuai dan memastikan siklus biogeokimia yang efisien dari unsur hara

sangat penting untuk keberhasilan pengelolaan tanah dan produktivitas pertanian (Joseph et al., 2021). Menyadari masalah lingkungan dan degradasi tanah tersebut, penelitian biochar telah berkembang pesat dengan temuan-temuan penting mengenai manfaat agronomi, penyerapan karbon, emisi gas rumah kaca, kualitas tanah, keasaman tanah, kesuburan tanah, dan salinitas tanah (Kilowasid et al., 2023; Yavitt et al., 2021).

Biochar merupakan biomassa nabati yang kaya akan karbon, yang juga disebut "Emas Hitam", diproduksi melalui proses pirolisis pada suhu tinggi dan kondisi kekurangan oksigen. Ada beragam asal limbah biomassa seperti sekam padi, bagian tanaman, ranting, kayu, serbuk gergaji, produk sampingan tebu, daun pohon tumbang, gulma, jerami, dan rerumputan yang biasa digunakan dalam produksi biochar (Murtaza et al., 2021). Baru-baru ini, "biochar" semakin banyak didiskusikan karena kemampuannya untuk

memperbaiki kondisi tanah yang buruk seperti pencucian, keasaman, dan mengurangi emisi karbon, termasuk toksisitas logam berat seperti pada tanah bekas tambang (Suleman et al., 2024). Biochar mampu secara langsung menahan unsur hara makro seperti N, P, K, dan Ca (Herviyanti et al., 2023). Biochar juga efektif mengatur aktivitas dan komposisi biota tanah di rizosfer, serta mempengaruhi keseimbangan penyerapan unsur hara pada tanah masam (Rakian et al., 2023).

Kelurahan Lalodati merupakan salah satu wilayah yang terdapat pada Kecamatan Puuwatu, Kota Kendari. Potensi wilayah ini sebagian masih bermata pencaharian sebagai petani dengan komoditas tanaman pangan, perkebunan atau pun hortikultura. Hasil survei menunjukkan di wilayah ini banyak terdapat aneka tanaman bambu yang umumnya hanya digunakan sebagai tanaman pagar oleh petani setempat. Bahkan menurut beberapa petani, karena

pertumbuhannya yang sangat cepat, tanaman bambu ini sudah dianggap sebagai tanaman pengganggu bagi tanaman lain di lahan mereka. Olehnya itu, diperlukan usaha diversifikasi pemanfaatan produk samping (*by-product*) limbah pertanian menjadi produk berupa biochar untuk meningkatkan omzet masyarakat dan peningkatan produktivitas lahan usaha taninya. Hingga saat ini, terdapat beberapa metode produksi biochar yang dapat dilakukan seperti metode pirolisis, metode kon-tiki, metode drum tertutup, dan metode soil pit. Metode *soil pit* merupakan alternatif metode yang dapat dilakukan karena pada dasarnya berprinsip pada biaya yang relatif terjangkau dan mudah untuk dilakukan.

Kegiatan Pengabdian Kepada Masyarakat Internal (PKMI) merupakan salah satu wujud tridharma perguruan tinggi Fakultas Pertanian Universitas Halu Oleo dalam rangka meningkatkan pengetahuan dan keterampilan masyarakat mengatasi masalah

produktivitas lahan pertanian. Mitra program pada kegiatan ini adalah kelompok tani masyarakat Lalodati yang beranggotakan petani tanaman perkebunan, hortikultura dan pangan. Penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologi pembuatan biochar masih sangat rendah, sehingga kapasitas mitra dalam pengelolaan limbah biomassa perlu ditingkatkan. Kegiatan Program Kemitraan Masyarakat ini dilaksanakan guna mewujudkan SDM yang handal dalam produksi biochar, serta meningkatkan pendapatan dan kesejahteraan petani, juga memacu pertumbuhan ekonomi masyarakat, bahkan menjadi solusi yang tepat dalam mengatasi masalah lingkungan.

Selain masyarakat/ petani Lalodati, kegiatan PKMI ini juga melibatkan mitra pengguna biochar, yaitu pelaku usaha tanaman hias yang berada di Kelurahan Tobuha, Kec. Puuwatu, Kota Kendari. Selama ini, Pelaku usaha tanaman hias hanya menggunakan biochar dari sekam

padi. Sementara itu, pemanfaatan biochar sekam padi tidak hanya digunakan oleh pelaku usaha tanaman hias, tetapi juga dimanfaatkan oleh industri lain sehingga sering menimbulkan keterbatasan bahan baku. Olehnya itu, diperlukan inovasi penggunaan bahan baku lain yang dapat dibuat sebagai biochar.

METODE

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat di Kelurahan Lalodati Kec. Puwatu Kota Kendari melibatkan tim dosen dan mahasiswa Fakultas Pertanian Universitas Halu Oleo. Peserta kegiatan terdiri dari 10 orang Masyarakat tani dan 2 orang pelaku usaha tanaman hias. Kegiatan dilaksanakan pada tanggal 27 Juli 2023. Beberapa langkah yang diterapkan pada kegiatan ini adalah sebagai berikut:

1. Tahap Persiapan

Tahap persiapan dilakukan dengan survei lokasi kegiatan dan komunikasi dengan lurah Lalodati. Selanjutnya

pengurusan surat tugas dari LPPM Universitas Halu Oleo, pembagian tugas tim pelaksana/pembimbing, dan membuat jadwal pertemuan dengan kelompok mitra masyarakat Desa Lalodati.

2. Tahap Pelaksanaan

Pada tahap pelaksanaan kegiatan, dilakukan dalam bentuk sosialisasi dan pelatihan pembuatan biochar dari tanaman bambu dengan beberapa metode sebagai berikut:

a. Ceramah

Pada tahap ini dilakukan penyampaian materi secara langsung kepada masyarakat Lalodati tentang pengelolaan tanaman bambu menjadi pupuk organik dilanjutkan dengan materi pembuatan biochar dengan memanfaatkan sumber daya lokal. Secara umum, pemaparan materi terkait definisi, manfaat, serta pembuatan biochar melalui ceramah langsung pada

masyarakat (Bahri et al., 2022; Putri et al., 2023).

b. Demonstrasi

Pada tahap ini, anggota kelompok tani/Masyarakat Lalodati diberikan pelatihan dalam rangka pemanfaatan bahan-bahan alami yang diperoleh di lingkungan sekitar sebagai sumber utama pembuatan biochar. Pelatihan mengenai pembuatan biochar diadakan dengan tujuan agar peserta terutama anggota Kelompok Tani Lalodati, dapat melanjutkan praktik ini dan berbagi pengetahuan serta pengalaman kepada masyarakat lainnya.

c. Diskusi

Pada sesi ini, kelompok melakukan diskusi dan jawab dengan pemateri, sehingga menciptakan komunikasi saling berhubungan antara semua anggota kelompok.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pencapaian dari program pengabdian kepada masyarakat yang dilakukan oleh tim pelaksana dalam lingkungan Universitas Halu Oleo diuraikan melalui serangkaian kegiatan sebagai berikut:

a. Sosialisasi pembuatan biochar

Sosialisasi mengenai pembuatan biochar kepada kelompok tani dan masyarakat Kelurahan Lalodati, Kec. Puuwatu, dilakukan pada tanggal 27 Juli 2023 yang berlokasi di perkebunan masyarakat. Kegiatan ini menggunakan metode ceramah sebagai pendekatan utama, dengan penyampaian materi yang mencakup definisi, manfaat, dan teknik pembuatan biochar berbasis sumber daya lokal yaitu tanaman bambu (Gambar 1).



Gambar 1. Masyarakat Lalodati dan Mitra

Pada penjelasan materi oleh tim PKMI diungkapkan bahwa biochar adalah jenis bahan pembenah tanah yang memiliki peran yang signifikan, terutama untuk tanah dengan tingkat pelapukan yang tinggi. Biochar memiliki kandungan karbon yang tinggi, yang berperan penting dalam meningkatkan keberagaman dan jumlah mikroorganisme dalam tanah. Kandungan unsur hara dalam kompos maupun biochar bervariasi tergantung pada bahan utama yang digunakan, karena unsur-unsur ini berasal dari tumbuhan atau tanaman yang telah dipanen (Abdillah et al., 2021).

Tim PKMI juga menjelaskan bahwa biochar memiliki banyak sifat yang menarik (misalnya, KTK, luas permukaan yang lebih tinggi, pH, kapasitas menahan air, biodegradasi, rasio H/C dan O/C, dan mikroporositas) untuk aplikasi pertanian dan lingkungan. Fitur-fitur biochar ini dapat mengubah karakteristik fisik dan kimia tanah. Aplikasi biochar dalam tanah meningkatkan penyerapan unsur hara oleh

tanaman (Chiaramonti, 2019). Kandungan abu dari biochar memainkan peran utama dalam pengaturan pH dan meningkatkan mineral anorganik terutama K untuk pertumbuhan tanaman (Alkharabsheh et al., 2021). Biochar yang bersifat basa dapat meningkatkan produksi tanaman dan kualitas tanah pada tanah masam karena adanya peningkatan pH tanah. Pencampuran biochar dengan bahan tambahan tanah lainnya seperti kapur, kompos, pupuk kandang, sisa tanaman, dan pupuk organik dapat mengurangi pencucian unsur hara dibandingkan dengan penggunaan bahan tambahan tanah saja (Haider et al., 2022).

b. Demonstrasi pembuatan biochar

Prosedur atau langkah-langkah pembuatan biochar menggunakan metode *soil pit* yaitu sebagai berikut:

1. Pembuatan lubang galian yang berbentuk kerucut atau berbentuk *cone*. Hal ini dilakukan dengan tujuan agar meminimalisir oksigen yang

masuk sehingga emisi yang ditimbulkan lebih sedikit ketika dilaksanakan proses pembakaran.

2. Lubang galian yang dibuat memiliki sudut kemiringan 60° , berdiameter 2 meter, dan memiliki tinggi 1,5 meter atau bisa disesuaikan dengan kebutuhan.

Pada tahap ini, demonstrasi pembuatan biochar menggunakan metode *soil pit*. *Soil pit* merupakan metode pembakaran dengan menumpuk kayu yang tertutup pada lubang tanah dan membakarnya secara perlahan dengan sedikit atau tanpa udara (Barrow, 2012). Metode *soil pit* memanfaatkan dinding tanah sebagai media pembakaran. Meskipun demikian untuk mengontrol pembakaran dalam PKM ini diperkenalkan pula teknik pembuatan keranjang besi sebagai cone penampung (Gambar 2).



Gambar 2. Pembuatan cone penampung

Masyarakat tani Lalodati sangat antusias mengikuti seluruh rangkaian prosedur pembuatan biochar (Gambar 3 sampai dengan 10).



Gambar 3. Pembuatan soil pit



Gambar 4. Penyesuaian cone dalam soil pit



Gambar 5. Memasukkan cone dalam soil pit



Gambar 6. Memasukkan bahan dalam soil pit



Gambar 7. Proses pembakaran selama 4 jam



Gambar 8. Hasil pembakaran



Gambar 9. Biochar dikeluarkan dari soil pit



Gambar 10. Biochar arang bambu

Produksi biochar dari limbah dapat menjadi cara yang sangat baik untuk mengurangi permintaan pupuk (mengurangi ketergantungan, biaya dan polusi), menyerap karbon dan memungkinkan perbaikan lahan

terdegradasi yang relatif murah dan tahan lama serta pertanian yang berkelanjutan yang lebih baik (Gabhane et al., 2020). Bambu merupakan bahan yang sempurna untuk mensintesis biochar dan karbon aktif. Bambu memiliki lebih banyak kandungan silika, arang, dan zat ekstraktif dibandingkan kayu. Bambu menghasilkan biomassa yang tinggi, dan arang bambu telah menarik banyak perhatian karena sifat adsorpsinya yang sangat baik, luas permukaan yang besar, dan strukturnya yang sangat berpori (Chaturvedi et al., 2023).

Penerapan biochar sebagai bahan pembenah untuk produksi tanaman dan remediasi tanah telah mendapatkan perhatian khusus karena efek positifnya terhadap pertumbuhan tanaman dan peningkatan kualitas tanah (Ajibade et al., 2022; Alam et al., 2023). Biochar memberikan beberapa manfaat bagi pertanian dan lingkungan, seperti peningkatan kesehatan tanah, pertumbuhan dan hasil panen yang lebih

baik, penyerapan karbon, penurunan emisi gas rumah kaca (GRK), dan pengaturan dinamika hara. Aplikasi biochar dengan takaran rendah membantu meningkatkan perkecambahan benih dan pertumbuhan bibit. Biochar memodifikasi proses abiotik dan mikroba di rizosfer dan meningkatkan mineralisasi hara serta meningkatkan ketersediaan hara untuk penyerapan tanaman. Oleh karena itu, biochar meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit, mengurangi ketersediaan logam berat dan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap tekanan lingkungan (Murtaza et al., 2023).

Mengingat peran dan manfaat biochar yang begitu besar, maka upaya produksi biochar dari berbagai limbah biomassa terus perlu di masyarakatkan. Terlebih lagi kondisi tanah di Sultra yang umumnya termasuk tanah marginal sehingga memerlukan bahan pembenah tanah yang lebih efektif dan berkelanjutan, yang secara simultan dapat memperbaiki

karakteristik fisika, kimia maupun biologi tanah.

KESIMPULAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat internal (PKMI) dapat meningkatkan kemampuan masyarakat dalam memahami konsep, pembuatan, dan penerapan teknologi sederhana pada pembuatan biochar. Program ini juga bertujuan meningkatkan kualitas limbah pertanian menjadi produk yang memiliki nilai ekonomis. Produk biochar ini memiliki potensi untuk meningkatkan pendapatan masyarakat, serta

memberikan solusi terhadap permasalahan kesehatan dan aspek lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan Terima Kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Halu Oleo yang telah mendanai kegiatan Pengabdian Kepada Masyarakat Internal (PKMI) No: DIPA-023.17:677510/2023 dan masyarakat Kelurahan Lalodati serta pelaku usaha tanaman hias atas keterlibatannya sebagai mitra pada kegiatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, M. H., Agus, Z., Muchlis, N., Iswahyudi, H., Lukmana, M., Rahmawati, L., & Widiyastuti, D. A. (2021). Pemberdayaan Masyarakat Membuat Biochar Dan Kompos Dari Biomassa Tanaman Padi. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*, 5(4), 1–8.
- Agegnehu, G., Srivastava, a. K., & Bird, M. I. (2017). The role of biochar and biochar-compost in improving soil quality and crop performance: A review. *Applied Soil Ecology*, 119(October 2016), 156–170. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.06.008>
- Ajibade, S., Nnadozie, E. C., Iwai, C. B., Ghotekar, S., Chang, S. W., Ravindran, B., & Kumar Awasthi, M. (2022). Biochar-based compost: a bibliometric and visualization analysis. *Bioengineered*, 13(7-12), 15013–15032. <https://doi.org/10.1080/21655979.2023.2177369>
- Alam, S., Ginting, S., Halim, H., Hasid, R., Namriah, N., Rustam, L. O., & Pebriansyah, R. (2023). Production of local resource-based soil improvement materials as a community

- empowerment model in Sindangkasih Village, South Konawe. *Community Empowerment*, 8(11), 1793–1801. <https://doi.org/10.31603/ce.10446>
- Alkharabsheh, H. M., Seleiman, M. F., Battaglia, M. L., Shami, A., Jalal, R. S., Alhammad, B. A., Almutairi, K. F., & Al-Saif, A. M. (2021). Biochar and its broad impacts in soil quality and fertility, nutrient leaching and crop productivity: A review. *Agronomy*, 11(5), 1–129. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050993>
- Bahri, S., Ambarwati, Y., Notiragayu, N., Marlina, L., & Setiawan, A. (2022). Training for the production of organic fertilizer from kitchen waste in Rukti Endah Village, Central Lampung Regency. *Community Empowerment*, 7(12), 2039–2048. <https://doi.org/10.31603/ce.6985>
- Baquy, M. A. Al, Al Mamun, M. A., Mia, S., Alam, M. M., Khan, M. S. H., & Rahman, S. M. (2022). Biochar research advancement in Bangladesh: challenges and opportunities of biochar in improving soil health. *Sains Tanah*, 19(2), 145–159. <https://doi.org/10.20961/stjssa.v19i2.59758>
- Barrow, C. J. (2012). Biochar: Potential for countering land degradation and for improving agriculture. *Applied Geography*, 34, 21–28. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.09.008>
- Casini, D., Barsali, T., Rizzo, A. M., & Chiaramonti, D. (2021). Production and characterization of co-composted biochar and digestate from biomass anaerobic digestion. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 11(6), 2271–2279. <https://doi.org/10.1007/s13399-019-00482-6>
- Chaturvedi, K., Singhwane, A., Dhangar, M., Mili, M., Gorhae, N., Naik, A., Prashant, N., Srivastava, a. K., & Verma, S. (2023). Bamboo for producing charcoal and biochar for versatile applications. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03715-3>
- Chiaramonti, D. (2019). *Renewable Energy Consortium for R & D Biochar and organic matter Co-Composting: a critical review*. 50038.
- Gabhane, J. W., Bhange, V. P., Patil, P. D., Bankar, S. T., & Kumar, S. (2020). Recent trends in biochar production methods and its application as a soil health conditioner: a review. *SN Applied Sciences*, 2(7), 1–21. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-3121-5>
- Haider, F. U., Coulter, J. a., Cai, L., Hussain, S., Cheema, S. A., Wu, J., & Zhang, R. (2022). An overview on biochar production, its implications, and mechanisms of biochar-induced amelioration of soil and plant characteristics. *Pedosphere*, 32(1), 107–130. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(20\)60094-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60094-7)

- Herviyanti, H., Maulana, a., Habazar, T., Noer, M., Lita, R. P., Refdi, C. W., Fathi, a. N. M., & Monikasari, M. (2023). Application of local resource-based amelioration technology on the chemical properties of Inceptisols in monoculture and polyculture cultivation systems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1160(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1160/1/012025>
- Joseph, S., Cowie, A. L., Van Zwieten, L., Bolan, N., Budai, A., Buss, W., Cayuela, M. L., Graber, E. R., Ippolito, J. a., Kuzyakov, Y., Luo, Y., Ok, Y. S., Palansooriya, K. N., Shepherd, J., Stephens, S., Weng, Z., & Lehmann, J. (2021). How biochar works, and when it doesn't: A review of mechanisms controlling soil and plant responses to biochar. *GCB Bioenergy*, 13(11), 1731–1764. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12885>
- Kilowasid, L. M. H., Manik, D. S., Nevianti, N., Komang, G. A., Mutmainna, P., Afa, L. O., Rakian, T. C., Hisein, W. S. A., Ramadhan, L. O. A. N., & Alam, S. (2023). The quality of acid soils treated with seaweed (*Kappapychus alvarezii*) sap enriched biochar from Southeast Sulawesi, Indonesia. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 10(2), 4255. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2023.102.4255>
- Murtaza, G., Ahmed, Z., Eldin, S. M., Ali, B., Bawazeer, S., Usman, M., Iqbal, R., Neupane, D., Ullah, A., Khan, A., Hassan, M. U., Ali, I., & Tariq, A. (2023). Biochar-Soil-Plant interactions: A cross talk for sustainable agriculture under changing climate. *Frontiers in Environmental Science*, 11(February). <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1059449>
- Murtaza, G., Ahmed, Z., Usman, M., Tariq, W., Ullah, Z., Shareef, M., Iqbal, H., Waqas, M., Tariq, A., Wu, Y., Zhang, Z., & Ditta, A. (2021). Biochar induced modifications in soil properties and its impacts on crop growth and production. *Journal of Plant Nutrition*, 44(11), 1677–1691. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1871746>
- Purwanto, B. H., & Alam, S. (2020). Impact of intensive agricultural management on carbon and nitrogen dynamics in the humid tropics. *Soil Science and Plant Nutrition*, 66(1), 50–59. <https://doi.org/10.1080/00380768.2019.1705182>
- Putri, D. K. Y., Mumtazah, Z., Jannah, D., & Abdullah, L. K. (2023). Pemberdayaan Petani Melalui Inovasi Biochar sebagai Solusi Pengganti Pupuk Kimia di Desa Grenden Kecamatan Puger Kabupaten Jember. *Segawati Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 7(5), 717–723.
- Rakian, T. C., Muhammad, L., Kilowasid, H., Afa, L. A. O. D. E., Riskyana, A., Wijayanti, Y., Bahrin, A., & Subair, I. (2023). *Soil biological quality in rhizosphere, growth, and yield of upland rice grown on acid soil after amended biochar enriched sap of Kappapychus alvarezii*. 24(12), 6780–6792. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d241241>

- Suleman, D., Resman, Syaf, H., Namriah, Suaib, Alam, S., Yusuf, D. N., & Mbay, W. O. N. (2024). Change of soil chemical properties and the growth of *Pogostemon cablin* Benth on nickel-mined soil amended with rice husk charcoal. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 11(2), 5353–5360. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2024.112.5353>
- Yavitt, J. B., Pipes, G. T., Olmos, E. C., Zhang, J., & Shapleigh, J. P. (2021). Soil Organic Matter, Soil Structure, and Bacterial Community Structure in a Post-Agricultural Landscape. *Frontiers in Earth Science*, 9(February), 1–15. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.590103>