



Transformasi Teknologi Inovatif Produksi Biochar Berbasis Biomassa untuk Pemberdayaan Santri dan Petani dalam Mewujudkan Ekonomi Hijau di Samarinda

Transformation of Innovative Biomass-Based Biochar Production Technology for the Empowerment of Santri and Farmers toward a Green Economy in Samarinda

Ida Rosanti^{1*}, Purbawati², Sri Endayani³, Mad Yusup⁴, Hadi Safwan⁵,
Moh Amirrudin⁶, Wita Vadillah⁸

^{1,2/4-8} Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Nahdlatul Ulama Kalimantan Timur, Indonesia

³ Pertanian, Universitas 17 Agustus Samarinda, Indonesia

*Penulis korespondensi: madyusup0906@gmail.com⁴

Riwayat artikel:

Naskah Masuk: 26 Juni 2025;

Revisi: 20 Agustus 2025;

Diterima: 03 Oktober 2025;

Tersedia: 07 November 2025.

Keywords: Biochar; Biomass;
Empowerment; Green Economy;
Transfer Teknologi

Abstract. This community service initiative aimed to empower Islamic boarding school students and local farmers in Lempake, Samarinda, through the transfer of innovative biochar production technology utilizing biomass waste. The target community faces significant challenges, including poor soil fertility, land degradation from post-mining activities, and underutilization of abundant organic waste. The introduced biochar technology employs a simple pyrolysis process using Kon-Tiki Kilns to convert agricultural residues into porous, carbon-rich material, enhancing soil structure, nutrient retention, and water-holding capacity while reducing reliance on chemical fertilizers. The Program activities included field observations, awareness campaigns, hands-on training, technology demonstrations, mentoring, and evaluation, with Pesantren Rahmatullah serving as a strategic hub for education and local innovation. The results showed significant improvements in participants' knowledge and skills in producing and applying biochar, stimulating community-based business opportunities, enhancing soil.

Abstrak

Program Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) ini bertujuan untuk memberdayakan santri dan petani di wilayah Kelurahan Lempake, Samarinda, melalui transfer teknologi inovatif produksi biochar berbasis limbah biomassa. Permasalahan utama yang dihadapi mitra adalah rendahnya kesuburan tanah, tingginya degradasi lahan pascatambang, serta belum optimalnya pemanfaatan limbah biomassa yang melimpah. Inovasi biochar yang diperkenalkan merupakan hasil pirolisis bahan organik seperti ranting, daun kering, dan limbah pertanian, dengan teknologi sederhana menggunakan tungku Kon-Tiki Kiln. Biochar terbukti mampu memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK), menyimpan unsur hara dan air, serta mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia. Metode pelaksanaan mencakup observasi lapangan, sosialisasi, pelatihan praktik produksi biochar, demonstrasi lahan (demplot), pendampingan, dan evaluasi. Pesantren Rahmatullah berperan strategis sebagai pusat edukasi berbasis masyarakat dan menjadi model inovasi lokal. Hasil kegiatan menunjukkan peningkatan pengetahuan dan keterampilan peserta dalam mengolah limbah menjadi biochar yang bernilai ekonomis, peningkatan kualitas lahan pertanian, dan munculnya potensi usaha berbasis biochar. Program ini juga mendukung pencapaian ekonomi hijau dan pengurangan emisi karbon melalui pengelolaan limbah ramah lingkungan. PKM ini berhasil menunjukkan bahwa teknologi biochar berbasis sumber daya lokal tidak hanya meningkatkan produktivitas pertanian, tetapi juga menjadi solusi inovatif dalam pembangunan ekonomi berkelanjutan di tingkat komunitas pesantren dan petani.

Kata Kunci: Biochar; Biomassa; Ekonomi Hijau; Pemberdayaan; Transfer Teknologi

1. PENDAHULUAN

Krisis lingkungan akibat degradasi lahan, peningkatan emisi karbon, dan menurunnya produktivitas pertanian merupakan tantangan serius yang dihadapi masyarakat pedesaan,

termasuk di wilayah Kelurahan Lempake, Samarinda (BPS Samarinda, n.d.). Sebagian besar lahan pertanian di daerah ini merupakan tanah marginal pasca tambang dan gambut dengan kesuburan rendah, ditandai oleh tingginya keasaman serta rendahnya kandungan unsur hara makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) (Mansyur et al., 2022) (Di et al., 2024) (Abdillah et al., 2023). Di sisi lain, ketersediaan limbah biomassa seperti ranting, daun kering, serta limbah pertanian dan peternakan sangat melimpah namun belum dimanfaatkan secara optimal (Sugiyanto et al., 2021).

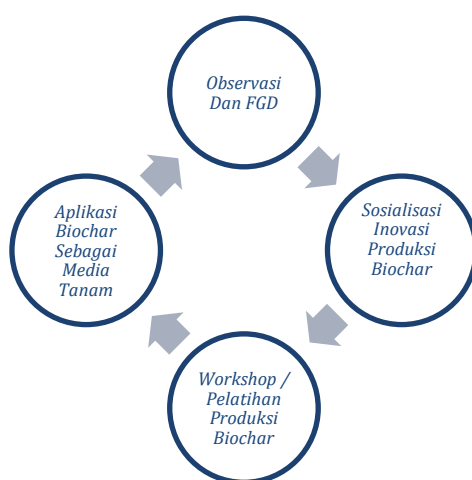
Untuk menjawab tantangan tersebut, diperlukan solusi inovatif dan berbasis sumber daya lokal yang mampu memperbaiki kualitas tanah sekaligus mengelola limbah secara ramah lingkungan. Salah satu teknologi tepat guna yang potensial adalah produksi biochar, yaitu material kaya karbon hasil pirolisis (Purwandari, V., Harahap, M., Gultom, E., Harefa, E. W., Hulu, B. S., & Laia, 2023) (Phuong NV., Hoang NK., 2021) bahan organik pada suhu tinggi dalam kondisi terbatas oksigen (Lehmann & Joseph, 2024) (Bolognesi et al., 2021); (Cao et al., 2024); (Clauser et al., 2021); (Haider et al., 2022); (Lusmaniar et al., 2022); (Pramudiyanto & Suedy, 2020); (Sri Shalini S et al., 2021); (Yan et al., 2020). Biochar diketahui memiliki kemampuan tinggi dalam memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) (Mansyur et al., 2022), serta mendukung kehidupan mikroba tanah (Lima et al., 2009).

Program Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) ini bertujuan untuk mentransfer teknologi produksi biochar berbasis biomassa kepada santri Pesantren Rahmatullah dan petani Lempake sebagai bentuk pemberdayaan masyarakat dalam mendukung ketahanan pangan dan ekonomi hijau. Kegiatan ini mencakup sosialisasi, pelatihan, pendampingan, dan demonstrasi lapangan dengan pendekatan partisipatif. Pesantren sebagai pusat edukasi masyarakat memiliki peran strategis dalam mengakselerasi adopsi teknologi ini dan menjadikannya model pemberdayaan komunitas menuju pertanian berkelanjutan berbasis ekonomi sirkular (Duque-Acevedo et al., 2023); (Ayaz et al., 2021); (Jindo et al., 2020) (Yang, 2022); (Enaime et al., 2023); (Abbas et al., 2021).

2. METODE

Program Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) ini dilaksanakan di Pesantren Rahmatullah, Kelurahan Lempake, Kecamatan Samarinda Utara, Kalimantan Timur, selama periode Juli hingga Desember 2024. Lokasi dipilih berdasarkan potensi biomassa yang tinggi namun belum dimanfaatkan, serta kondisi lahan marginal pascatambang yang membutuhkan pembenahan. Mitra sasaran terdiri atas santri, pemberdayaan pengelola pesantren (Sudrajat, Nuraeni, 2024), dan petani lokal yang mayoritas bermata pencaharian di sektor pertanian dan

peternakan. Metode pelaksanaan menggunakan pendekatan partisipatif berbasis transfer teknologi tepat guna dan pelatihan praktik langsung. Tahapan kegiatan pertama observasi Lapangan dan Identifikasi Masalah (Chambers, 2017). Tim melakukan survei kondisi tanah dan ketersediaan limbah biomassa di lingkungan pesantren dan wilayah pertanian sekitar. Hasil observasi menunjukkan tingginya potensi biomassa seperti ranting, daun kering, dan limbah organik, serta perlunya peningkatan pengetahuan masyarakat terhadap pengelolaan limbah menjadi produk yang bermanfaat. Tahap kedua sosialisasi dan penyuluhan, dilakukan pemaparan mengenai konsep biochar, manfaatnya bagi tanah dan lingkungan, serta potensi ekonominya. Penyuluhan dilakukan secara interaktif menggunakan media ceramah, presentasi (Hermanto, 2022); (Putri et al., 2023), diskusi kelompok, dan video edukatif.



Gambar 1. Inovasi Produksi Biochar di Pesantren Rahmatullah dan Petani Samarinda.



Gambar 2. Gambar Kegiatan Sosialisasi.

Tahap tiga aktivitas workshop produksi biochar, santri dan petani dilatih memproduksi biochar dengan metode pirolisis menggunakan tungku Kon-Tiki Kiln (Kranthi & Kranthi, 2023). Peserta terlibat dalam setiap tahap, mulai dari pemilihan bahan baku, pembakaran, pemadaman, hingga aktivasi biochar dengan rendaman kompos atau ecoenzyme.



Gambar 3. Kegiatan Workshop.



Gambar 4. Pemilihan Limbah Biomassa.

Tahap pertama pada kegiatan workshop, dilakukan pemilihan bahan baku limbah biomassa. Kemudian dilanjutkan dengan proses Pirolisis, yaitu proses pembakaran limbah biomassa, pembakaran dijaga dan dipantau pada temperatur sekitar 600°C untuk menjadi biochar yang berkualitas.



Gambar 5. Alat Kontiki Kiln untuk Proses Pirolisis Limbah Biomassa.



Gambar 6. Proses Pirolisis Biochar.

Tahap berikutnya adalah pemadaman biochar menggunakan air hujan supaya kondisi biochar tidak terkontaminasi oleh bahan kimia.



Gambar 7. Proses Pemadaman Biochar.

Aktivitas selanjutnya adalah perendaman biochar menggunakan kompos atau ecoenzyme, waktu perendaman sekitar 3 minggu.



Gambar 8. Proses Perendaman Biochar.

Proses berikutnya aktivasi penjemuran secara alami, dan dilanjutkan dengan proses fermentasi biochar dalam waktu sekitar 3 minggu. Dari proses fermentasi dilanjutkan dengan proses penggilingan atau penepungan biochar, dengan tujuan supaya mudah diaplikasikan sebagai media tanam.



Gambar 9. Proses Penggilingan Biochar.

Demonstrasi Lahan (Demplot), aplikasi biochar dilakukan pada lahan sayuran seperti cabai, sawi, dan kacang panjang. Biochar ditaburkan di sekitar lubang tanam dan dicampur dengan tanah untuk meningkatkan pH dan daya serap air.



Gambar 10. Media Biochar Untuk Tanaman Lombok Dan Kangkung.



Gambar 11. Aplikasi Biochar Untuk Tanaman Cabai.

Pendampingan dan Evaluasi, tim PKM melakukan kunjungan berkala untuk memantau aplikasi biochar dan memberikan pendampingan teknis. Kegiatan akhir dilakukan evaluasi terhadap program-program yang telah dilakukan oleh tim PKM. Evaluasi dilakukan untuk mengetahui hambatan atau kesulitan yang dihadapi selama proses kegiatan, dan kemudian didiskusikan untuk diselesaikan

3. HASIL

Pelaksanaan program pengabdian kepada masyarakat ini menghasilkan beberapa luaran penting yang menunjukkan dampak nyata dari transfer teknologi biochar terhadap

pengetahuan, keterampilan, dan praktik pertanian santri serta petani lokal di Samarinda. Hasil kegiatan pengabdian masyarakat dapat meningkatkan pengetahuan dan keterampilan. Sebelum pelaksanaan program, mayoritas peserta belum mengenal konsep biochar maupun cara pemanfaatan limbah biomassa untuk pertanian (Joseph & Lehmann, 2015; Lehmann & Joseph, 2024). Hasil evaluasi awal menunjukkan bahwa 78% peserta belum memahami cara memproduksi biochar, dan 85% belum pernah mengaplikasikannya di lahan. Setelah dilakukan sosialisasi (Abdillah et al., 2023), pelatihan, dan workshop, terjadi peningkatan signifikan. Sebanyak 90% peserta mampu menjelaskan fungsi biochar, dan 87% telah mampu memproduksi biochar secara mandiri menggunakan tungku Kon-Tiki Kiln (Nurfaritsya et al., 2023); (Prasetyo et al., 2020); (Haryanto et al., 2021); (Kazimierski et al., 2022); (Yan et al., 2020).

Tahap implementasi teknologi produksi biochar, merupakan proses pembuatan biochar menggunakan bahan baku lokal seperti ranting kering, daun gugur, limbah kebun, dan kotoran ternak. Produksi dilakukan dalam tungku pirolisis sederhana yang dikembangkan dengan pendekatan teknologi tepat guna. Biochar yang dihasilkan memiliki warna hitam pekat, struktur berpori, dan tidak menghasilkan asap berlebihan selama pembakaran. Hal ini menunjukkan keberhasilan pirolisis dengan emisi rendah.

Tahap aplikasi biochar pada lahan pertanian, kegiatan dilakukan pada lahan percobaan pesantren dan kebun petani mitra dengan komoditas seperti cabai, kacang panjang, dan kangkung. Biochar diaplikasikan pada lubang tanam dan dicampur dengan pupuk organik. Hasil pengamatan selama 4 minggu menunjukkan pertumbuhan vegetatif tanaman yang lebih cepat, warna daun lebih hijau, dan tingkat kelembaban tanah lebih stabil dibanding kontrol tanpa biochar. Ini sejalan dengan temuan (Abbas et al., 2021)(Fitri & Usni, 2024) (Jindo et al., 2020) (Duque-Acevedo et al., 2023) (Lehmann & Joseph, 2024) yang menyatakan bahwa biochar mampu meningkatkan efisiensi pemupukan dan kualitas tanah secara signifikan, (Minarti et al., 2023), (Murtaza et al., 2023).

Pada tahap potensi pengembangan ekonomi sirkular (Ellen MacArthur Foundation, 2021). Sebagai hasil dari pelatihan, muncul kelompok usaha kecil berbasis biochar di lingkungan pesantren. Beberapa santri mulai mengemas dan menjual biochar skala rumah tangga untuk digunakan oleh petani lain. Ini menunjukkan munculnya peluang ekonomi hijau berbasis limbah lokal dan penguatan ekonomi sirkular di tingkat komunitas. Selain itu, pemanfaatan limbah yang sebelumnya dibakar atau dibuang kini menjadi produk bernilai ekonomi dan ekologi.

Pada tahap evaluasi dilakukan melalui penyebaran kuesioner (Haryono, 2023) berisi butir-butir pertanyaan yang berkaitan tentang materi pelatihan pembuatan kompos dan biochar, hal ini bertujuan untuk menilai kesiapan dan minat santri Rahmatullah maupun masyarakat petani terhadap materi yang akan diberikan. berisi butir-butir pertanyaan yang berkaitan tentang materi pelatihan pembuatan kompos dan biochar, hal ini bertujuan untuk menilai kesiapan dan minat santri Rahmatullah maupun masyarakat petani terhadap materi yang akan diberikan. Evaluasi setelah penyampaian materi dan praktek, evaluasi dilakukan dengan melihat tanggapan peserta dan kemampuan dalam menguasai materi yang telah diberikan. Dilanjutkan diskusi kelompok, mengadakan test dalam pemahaman pembuatan biochar, kemudian mengevaluasi Tanggapan dan penguasaan materi, keaktifan peserta saat melakukan praktik dan kehadiran peserta. Kegiatan ini juga berguna dalam melihat respon pesantren Rahmatullah dan masyarakat petani sekitar Lempake Samarinda terhadap pemanfaatan limbah biomassa, limbah organik, limbah pertanian, seresah dan limbah ternak sebagai bahan pembuatan biochar. Setelah Masyarakat memahami tentang pentingnya pengolahan limbah, banyak peserta antusias untuk mempelajari lebih jauh cara pembuatan biochar, karena dirasa mudah, sangat bermanfaat untuk kegiatan pertanian, dan dapat menciptakan nilai ekonomis dalam meningkatkan kesejahteraan pesantren Rahmatullah dan masyarakat petani Lempake Samarinda. Biochar dapat dimanfaatkan untuk pembenahan tanah, sebagai media tanaman sayuran dan buah, mitigasi iklim, dan dapat menciptakan ekonomi hijau secara berkelanjutan bagi pesantren Rahmatullah dan masyarakat petani Lempake Samarinda. Akhir kegiatan evaluasi dengan pengamatan hasil tanaman untuk menilai efektivitas kegiatan terhadap peningkatan pemahaman, keterampilan, dan produktivitas pertanian

Tabel 1. Descriptive Statistics Keterangan tabel (nomor dan judul tabel) diletakkan di tengah atas.

Indicator	Before PKM	After PKM
Participant familiarity with biochar	22%	94%
Confidence in producing biochar	10%	87%
Willingness to adopt biochar use	-	74%

Hasilnya menegaskan bahwa produksi biochar menggunakan limbah biomassa lokal dapat ditransfer secara efektif ke masyarakat petani melalui pendekatan pengembangan kapasitas berbasis pesantren yang terstruktur. Meskipun dampak produktivitas pertanian jangka panjang memerlukan pemantauan lebih lanjut, program ini telah meletakkan dasar yang kuat untuk praktik berkelanjutan dan pemberdayaan masyarakat dalam konteks mitigasi perubahan iklim dan transformasi ekonomi hijau.

Tahap akhir peran strategis pesantren sebagai pusat edukasi, hasil kegiatan pengapdian pesantren Rahmatullah terbukti menjadi pusat edukasi yang strategis dalam menyebarluaskan praktik pertanian berkelanjutan (Lazuardi et al., 2024) (Fitri & Usni, 2024). Santri tidak hanya sebagai penerima manfaat, tetapi juga sebagai agen perubahan yang menyebarluaskan inovasi ini kepada keluarga dan lingkungan sekitarnya. Seluruh tahapan dirancang untuk mendorong keberlanjutan program, memungkinkan replikasi oleh masyarakat lain, serta memperkuat posisi pesantren sebagai pusat inovasi agroekologi berbasis komunitas.

4. DISKUSI

Hasil kegiatan PKM menunjukkan bahwa penerapan teknologi produksi biochar berbasis biomassa memiliki dampak positif terhadap pemberdayaan masyarakat dan peningkatan kesadaran lingkungan di pesantren Rahmatullah dan petani Samarinda. Pendekatan transfer teknologi inovatif ini terbukti efektif dalam membangun kapasitas lokal karena teknologi yang diperkenalkan bersifat sederhana, murah, dan mudah diadaptasi tanpa memerlukan peralatan canggih. Keberhasilan program PKM ini dapat dijelaskan melalui beberapa aspek penting. Pertama, dimensi sosial-edukatif, yaitu peningkatan literasi ekologis santri dan petani dalam pengelolaan limbah organik secara berkelanjutan. Pesantren Rahmatullah berperan sebagai pusat pembelajaran agroekologi berbasis spiritualitas lingkungan, yang menjembatani nilai religius dan tanggung jawab ekologis. Kedua, dimensi teknologis, di mana penggunaan tungku Kon-Tiki Kiln menghasilkan biochar berkualitas tinggi dengan emisi karbon yang rendah, sejalan dengan praktik ramah lingkungan sebagaimana dikemukakan oleh (Lehmann & Joseph, 2024) bahwa pirolisis terkendali mampu mengunci karbon dalam bentuk stabil untuk jangka panjang. Ketiga, dimensi ekonomi sirkular, di mana limbah organik diubah menjadi sumber daya produktif. Melalui proses konversi biomassa menjadi biochar, masyarakat dapat mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia sekaligus memperoleh produk bernilai ekonomi. Konsep ini sejalan dengan prinsip ekonomi hijau yang menekankan efisiensi sumber daya dan pengurangan emisi (Ellen MacArthur Foundation, 2021), (Jindo et al., 2020), (Ghosh, 2021). Implementasi kegiatan ini menegaskan bahwa penerapan teknologi tepat guna dapat menjadi instrumen penting dalam mendorong transisi ekonomi hijau di tingkat lokal. Selain itu, partisipasi aktif santri dalam kegiatan pembuatan biochar menunjukkan adanya transfer pengetahuan lintas generasi yang berpotensi memperkuat ketahanan pangan komunitas pesantren. Penerapan biochar sebagai pembenah tanah mendukung tujuan pertanian regeneratif dengan memperbaiki struktur tanah, meningkatkan ketersediaan unsur hara, dan meminimalkan kehilangan nutrisi melalui retensi yang lebih baik (Lehmann & Joseph, 2024).

Secara keseluruhan, kegiatan pengabdian ini membuktikan bahwa transformasi teknologi inovatif yang dikombinasikan dengan pendekatan social-komunitas mampu memperkuat keberlanjutan lingkungan dan ekonomi lokal. Pesantren sebagai agen perubahan memiliki potensi besar menjadi model percontohan bagi komunitas agraris lain di Kalimantan Timur dalam mengembangkan sistem ekonomi hijau berbasis biochar dan kearifan lokal.

5. KESIMPULAN

Program pengabdian kepada masyarakat ini berhasil mentransfer teknologi inovatif produksi biochar berbasis limbah biomassa kepada santri Pesantren Rahmatullah dan petani di Kelurahan Lempake, Samarinda. Melalui pendekatan partisipatif dan edukatif, peserta memperoleh pengetahuan dan keterampilan dalam memproduksi serta mengaplikasikan biochar secara mandiri menggunakan tungku Kon-Tiki Kiln. Biochar terbukti meningkatkan kualitas tanah marginal, mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia, serta mempercepat pertumbuhan tanaman hortikultura. Selain itu, program ini mendorong lahirnya inisiatif ekonomi sirkular berbasis biochar sebagai bentuk pemberdayaan komunitas pesantren menuju praktik pertanian berkelanjutan dan ekonomi hijau. Peran pesantren sebagai pusat edukasi dan inovasi lokal terbukti efektif dalam memperkuat literasi ekologis dan membangun kesadaran masyarakat terhadap pengelolaan limbah yang ramah lingkungan dan bernilai ekonomis.

PENGAKUAN/ACKNOWLEDGEMENTS

Kami dari segenap tim Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Nahdlatul Ulama Kalimantan Timur mengucapkan rasa terimakasih kepada Kemdikbud Ristekdikti Saintek (BIMA- Kemdiktisaintek) yang telah mendanai dan mendukung dalam kegiatan Pengabdian Kepada Masyarakat skema PMB di Pesantren Rahmatullah Lempake dan petani Samarinda sehingga kegiatan ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR REFERENSI

- Abbas, F., Hammad, H. M., Anwar, F., Farooque, A. A., Jawad, R., Bakhat, H. F., Naeem, M. A., Ahmad, S., & Qaisrani, S. A. (2021). Transforming a valuable bioresource to biochar, its environmental importance, and potential applications in boosting circular bioeconomy while promoting sustainable agriculture. *Sustainability*, 13(5), 1–16. <https://doi.org/10.3390/su13052599>
- Abdillah, M. H., Lukmana, M., Indriani, I., & Nur, R. (2023). Iptek bagi masyarakat dalam mengolah biomassa menjadi biochar dan asap cair menggunakan pirolisator portabel. *Sasambo: Jurnal Abdimas (Journal of Community Service)*, 5(1), 14–23. <https://doi.org/10.36312/sasambo.v5i1.1062>

- Ayaz, M., Feizienė, D., Tilvikienė, V., Akhtar, K., Stulpinaitė, U., & Iqbal, R. (2021). Biochar role in the sustainability of agriculture and environment. *Sustainability*, 13(3), 1–22. <https://doi.org/10.3390/su13031330>
- Bolognesi, S., Bernardi, G., Callegari, A., Dondi, D., & Capodaglio, A. G. (2021). Biochar production from sewage sludge and microalgae mixtures: Properties, sustainability and possible role in circular economy. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 11(2), 289–299. <https://doi.org/10.1007/s13399-019-00572-5>
- BPS Samarinda. (2022). *Perka BPS tentang standar pelayanan statistik terpadu di lingkungan Badan Pusat Statistik Nomor 65 Tahun 2024*. (PDF).
- Cao, H., Luo, Q., He, Y., Liang, J., Lin, S., Evrendilek, F., Qi, J., Yang, Z., Zhong, S., Liu, J., Yang, C., & Huang, W. (2024). *Gas-to-biochar byproducts of pyrolysis and gasification of star anise biomass*.
- Chambers, R. (2017). PRA, PLA and pluralism: Practice and theory. In *The SAGE Handbook of Action Research* (pp. 31–46). <https://doi.org/10.4135/9781473921290.n4>
- Clauser, N. M., González, G., Mendieta, C. M., Kruiyensk, J., Area, M. C., & Vallejos, M. E. (2021). Biomass waste as sustainable raw material for energy and fuels. *Sustainability*, 13(2), 1–21. <https://doi.org/10.3390/su13020794>
- Di, S., Limbung, D., & Raya, K. K. (2024). Pemanfaatan biochar spesifik lokasi untuk budidaya. *[Nama Jurnal tidak tersedia]*, 5, 262–273.
- Duque-Acevedo, M., Ulloa-Murillo, L. M., Belmonte-Ureña, L. J., Camacho-Ferre, F., Mercl, F., & Tlustoš, P. (2023). Sustainable and circular agro-environmental practices: A review of the management of agricultural waste biomass in Spain and the Czech Republic. *Waste Management and Research*, 41(5), 955–969. <https://doi.org/10.1177/0734242X221139122>
- Ellen MacArthur Foundation. (2021). *Completing the picture: How the circular economy tackles climate change* (pp. 1–71). Ellen MacArthur Foundation.
- Enaime, G., Wichern, M., & Lübken, M. (2023). Contribution of biochar application to the promotion of circular economy in agriculture. *Frontiers in Agronomy*, 5, 1–15. <https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1214012>
- Fitri, M. A., & Usni, M. (2024). Systematic literature review: Pertanian berbasis agroekologi untuk mendukung pertanian berkelanjutan. *[Prosiding]*, 427–436.
- Ghosh, S. K. (2021). *Waste management, sustainable development and circular economy*. ISWMAW.
- Haider, F. U., Wang, X., Zulfiqar, U., Farooq, M., Hussain, S., Mehmood, T., Naveed, M., Li, Y., Liqun, C., Saeed, Q., Ahmad, I., & Mustafa, A. (2022). Biochar application for remediation of organic toxic pollutants in contaminated soils: An update. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 248, 114322. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.114322>
- Haryanto, A., Hidayat, W., Hasanudin, U., Iryani, D. A., Kim, S., Lee, S., & Yoo, J. (2021). Valorization of Indonesian wood wastes through pyrolysis: A review. *Energies*, 14(5), 1–25. <https://doi.org/10.3390/en14051407>
- Haryono, E. (2023). *Metodologi penelitian kualitatif di perguruan tinggi keagamaan Islam*. *E-Journal An-Nuur*, 13, 1–6.
- Hermanto, E. A. (2022). Studi pertumbuhan tanaman serai wangi dengan perlakuan dosis

- biochar pada tanah ultisol dalam polybag. *Jurnal Agrotek Indonesia*, 10(1), 1–52. <https://doi.org/10.21608/pshj.2022.250026>
- Jindo, K., Audette, Y., Higashikawa, F. S., Silva, C. A., Akashi, K., Mastrolonardo, G., Sánchez-Monedero, M. A., & Mondini, C. (2020). Role of biochar in promoting circular economy in the agriculture sector. Part 1: A review of the biochar roles in soil N, P, and K cycles. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 7(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s40538-020-00182-8>
- Joseph, S., & Lehmann, J. (2015). *Biochar for environmental management: Chapter 1*.
- Kazimierski, P., Januszewicz, K., Godlewski, W., Fijuk, A., Suchocki, T., Chaja, P., Barczak, B., & Kardaś, D. (2022). The course and the effects of agricultural biomass pyrolysis in the production of high-calorific biochar. *Materials*, 15(3), 1–18. <https://doi.org/10.3390/ma15031038>
- Kranthi, K., & Kranthi, S. (2023). Production of biochar from cotton stalks using the cone-pit open earth kiln technique. *The ICAC Recorder*, March, 6–23.
- Lazuardi, M. J., Ismi, L., Nuryati, R., & Widi, R. H. (2024). Keberlanjutan pertanian berbasis pesantren di Kota Tasikmalaya. *[Jurnal]*, 12(2), 274–295.
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2024). *Biochar for environmental management*. <https://doi.org/10.4324/9781003297673-1>
- Lima, I., Steiner, C., Das, K. C., Novak, J. M., Xing, B., Gaskin, J. W., Ahmedna, M., Rehrah, D., Watts, D. W., Busscher, W. J., & Schomberg, H. (2009). Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. *Annals of Environmental Science*, 3, 195–206.
- Lusmaniar, L., Oksilia, O., & Nera, K. (2022). Aplikasi biochar sekam padi dan kombinasi pupuk urea, SP-36, dan KCl terhadap hasil jagung ketan (*Zea mays* Ceratina) di lahan ultisol. *Jurnal Agrotek Ummat*, 9(1), 26. <https://doi.org/10.31764/jau.v9i1.5773>
- Mansyur, N. I., Hanudin, E., Purwanto, B. H., & Utami, S. N. H. (2022). Chemical properties and micromorphology of biochars resulted from pyrolysis of agricultural waste at different temperature. *Agrivita*, 44(3), 431–446. <https://doi.org/10.17503/agrivita.v41i0.3085>
- Minarti, M., Ginting, S., Rembon, F. S., & Resman, R. (2023). Pengaruh pemberian biochar arang dan pupuk kandang ayam pada tanah ultisol. *Agritechpedia: Journal of Agriculture and Technology*, 1, 77–88.
- Murtaza, G., Ahmed, Z., Eldin, S. M., Ali, I., Usman, M., Iqbal, R., Rizwan, M., Abdel-Hameed, U. K., Haider, A. A., & Tariq, A. (2023). Biochar as a green sorbent for remediation of polluted soils and associated toxicity risks: A critical review. *Separations*, 10(3), 1–34. <https://doi.org/10.3390/separations10030197>
- Nurfaritsya, S. A., Rusnadi, I., & Daniar, R. (2023). Pengaruh variasi temperatur dan waktu proses pirolisis tatal kayu karet. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 7(3), 24569–24576.
- Phuong, N. V., & Hoang, N. K. (2021). Assessment of cadmium ion adsorption capacity in water by biochar produced from pyrolysis of cow dung. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 9(3), 203–210. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2021/09932021>
- Pramudiyanto, A. S., & Suedy, S. W. A. (2020). Energi bersih dan ramah lingkungan dari biomassa untuk mengurangi efek gas rumah kaca dan perubahan iklim yang ekstrem.

Jurnal Energi Baru dan Terbarukan, 1(3), 86–99.
<https://doi.org/10.14710/jebt.2020.9990>

- Prasetyo, Y., Hidayat, B., & Bintang, S. (2020). Karakteristik kimia biochar dari beberapa biomassa dan metode pirolisis. *Agrium*, 23(1), 17–21.
- Purwandari, V., Harahap, M., Gultom, E., Harefa, E. W., Hulu, B. S., & Laia, A. (2023). Pengolahan limbah hasil panen menjadi biochar dan asap cair sebagai biopestisida. *Jurnal Abdimas Mutiara*, 4(1), 282–285.
- Putri, D. K. Y., Mumtazah, Z., Jannah, D. P. N. M., & Abdullah, L. K. (2023). Pemberdayaan petani melalui inovasi biochar sebagai solusi pengganti pupuk kimia. *Sewagati*, 7(5), 716–723. <https://doi.org/10.12962/j26139960.v7i5.565>
- Sri Shalini, S., Palanivelu, K., Ramachandran, A., & Raghavan, V. (2021). Biochar from biomass waste as a renewable carbon material for climate change mitigation. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 11(5), 2247–2267. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00604-5>
- Sudrajat, & Nuraeni, A. (2024). *Cerdika*, 4(5), 367–380.
- Sugiyanto, S., Fatimah, F., Budi, W. S., Suwondo, A., & Suyanto, H. (2021). Comparison of joint space width determinations in knee osteoarthritis patients. *Journal of Biomedical Physics and Engineering*, 11(5), 613–620. <https://doi.org/10.31661/jbpe.v0i0.1912-1003>
- Yan, M., Zhang, S., Wibowo, H., Grisdanurak, N., Cai, Y., Zhou, X., Kanchanatip, E., & Antoni. (2020). Biochar and pyrolytic gas properties from pyrolysis of simulated municipal solid waste. *Waste Disposal and Sustainable Energy*, 2(1), 37–46. <https://doi.org/10.1007/s42768-019-00030-y>
- Yang, H. (2022). *The opportunities and challenges of open banking in Taiwan* (Thesis). https://ethesys.lis.nsysu.edu.tw/ETD-db/ETD-search/view_etd?URN=etd-0612122-202548