



**PENGOLAHAN JERAMI PADI MENJADI BIOCHAR PEMBENAH TANAH UNTUK
MENDUKUNG PERTANIAN BERKELANJUTAN PADA KELOMPOK TANI DIAT I,
BOLAANG MONGONDOW**

*Processing Rice Straw Into Biochar as a Soil Improvement to Support Sustainable
Agriculture In The Kelompok Tani Diat I, Bolaang Mongondow*

**Miftahul Jannah^{1*}, Mustapa¹, Hasmiati², Nathaniel Dave Emmanuel Pieter¹, Praisyy
Mandias¹**

¹Program Studi Kimia, Universitas Negeri Manado, ²Program Studi Pendidikan Biologi,
Universitas Negeri Manado

Kampus FMIPAK Unima di Tondano, Kab. Minahasa, Sulawesi Utara, 95618

*Alamat korespondensi: miftahuljannah@unima.ac.id

(Tanggal Submission: 06 Agustus 2024, Tanggal Accepted : 15 Agustus 2025)



Kata Kunci :

*Jerami Padi,
Biochar,
Pembenah
Tanah,
Pengabdian
Masyarakat*

Abstrak :

Limbah pertanian yang melimpah di wilayah pertanian umumnya belum dimanfaatkan secara optimal dan cenderung dibakar, sehingga menimbulkan pencemaran lingkungan dan hilangnya potensi bahan organik. Kelompok Tani Diat I merupakan salah satu kelompok tani yang menghadapi permasalahan tersebut, di mana jerami padi pascapanen tidak diolah dan kesuburan tanah semakin menurun akibat ketergantungan pada pupuk kimia. Kegiatan PkM ini bertujuan untuk meningkatkan pengetahuan dan keterampilan petani dalam mengolah jerami padi menjadi biochar sebagai pembenah tanah. Mitra sasaran kegiatan ini adalah Kelompok Tani Diat I yang berjumlah 15 orang. Metode kegiatan dilakukan dalam tiga tahap utama, yaitu identifikasi permasalahan melalui observasi dan wawancara dengan petani, perancangan solusi berupa pelatihan teknologi tepat guna, serta pelaksanaan teknis di lapangan. Kegiatan ini menghasilkan biochar jerami padi yang diproduksi menggunakan alat pirolisis tabung kon-tiki sederhana. Secara keseluruhan telah terjadi peningkatan pemahaman dan keterampilan peserta sebesar 51% tentang materi biochar, manfaat dan cara pembuatannya.

Key word :

*Rice Straw,
Biochar, Soil
Conditioner,*

Abstract :

The abundant agricultural waste in agricultural areas is generally not optimally utilized and tends to be burned, resulting in environmental pollution and the loss of potential organic matter. The Diat I Farmers Group is one of the farmer

Community Service

groups facing this problem, where post-harvest rice straw is not processed and soil fertility is decreasing due to dependence on chemical fertilizers. This Community Service (PKM) activity aims to improve farmers' knowledge and skills in processing rice straw into biochar as a soil conditioner. The target partners for this activity are 15 Diat I Farmers Groups. The activity method is carried out through three main stages: problem identification through observation and interviews with farmers, solution design through appropriate technology training, and technical implementation in the field. This activity produces rice straw biochar produced using a simple kon-tiki tube pyrolysis tool. Overall, there was a 51% increase in participants' understanding and skills regarding biochar materials, their benefits, and how to make it.

Panduan sitasi / citation guidance (APPA 7th edition) :

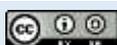
Jannah, M., Mustapa., Hasmia., Pieter, N. D. E., & Mandias, P. (2025). Pengolahan Jerami Padi Menjadi Biochar Pembena Tanah Untuk Mendukung Pertanian Berkelanjutan Pada Kelompok Tani Diat I, Bolaang Mongondow. *Jurnal Abdi Insani*, 12(8), 4001-4008. <https://doi.org/10.29303/abdiinsani.v12i8.2829>

PENDAHULUAN

Pertanian merupakan sektor utama dalam struktur perekonomian masyarakat di Kabupaten Bolaang Mongondow, Sulawesi Utara. Berdasarkan data statistik, luas lahan padi Kabupaten Bolaang Mongondow tahun 2022 adalah ±33.000 Ha dengan produksi padi ±137.000 ton (Badan Pusat Statistik Sulawesi Utara, 2024). Salah satu daerah dengan lahan pertanian terbesar di Kabupaten Bolaang Mongondow adalah Desa Diat. Di desa tersebut terdapat beberapa kelompok tani, salah satunya adalah Kelompok Tani Diat I. Kelompok tani ini mengelola lahan pertanian seluas 15 Ha yang ditanami dengan jagung dan padi. Rata-rata gabah yang dihasilkan sekitar 3600 Kg setiap tahun. Meskipun aktivitas pertanian masih produktif, namun petani masih terus mengalami tantangan dalam menjaga keberlanjutan produksi pertanian.

Kelompok Tani Diat I mengalami permasalahan dan tantangan dalam melakukan aktivitas pertanian. Permasalahan tersebut meliputi aspek produksi dan manajemen. Pada saat menanam padi, petani Diat terkadang harus berhadapan dengan penurunan kesuburan tanah. Penurunan kesuburan tanah terjadi karena adanya degradasi lahan pertanian. Degradasi lahan dapat terjadi karena kekeringan dan erosi (AlGhifari et al., 2019). Selain itu, penurunan kesuburan tanah juga dapat disebabkan karena praktik pertanian yang kurang ramah lingkungan. Penggunaan pupuk sintetik secara terus menerus dapat mengubah sifat fisikokimia dan biologi tanah dengan menurunkan kandungan bahan organik tanah, sehingga berpengaruh pada kualitas tanah pertanian (Pahalvi et al., 2021). Kemudian, permasalahan lain yang dialami petani adalah terkait pengolahan limbah pertanian yaitu jerami padi. Sejauh ini, jerami padi hanya dibakar untuk dikurangi jumlahnya di lingkungan. Hal tersebut memberikan dampak negatif berupa pencemaran udara di sekitar area persawahan. Untuk menanggapi hal tersebut, pemerintah Bolaang Mongondow telah mengeluarkan kebijakan yang tertuang dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah Tahun 2021-2026 (2021). Kebijakan tersebut menekankan pada pentingnya diversifikasi pertanian, pemanfaatan sumber daya lokal, dan penerapan teknologi ramah lingkungan. Salah satu solusi potensial dalam konteks ini adalah pemanfaatan jerami padi sebagai bahan baku pembuatan biochar.

Biochar adalah arang hayati yang diperoleh dari proses pirolisis biomassa pada suhu tinggi dengan sedikit atau tanpa oksigen (Kumar & Bhattacharya, 2021). Pemanfaatan biochar tidak hanya untuk lingkungan, tetapi juga untuk pertanian (Amin et al., 2016). Biochar telah banyak diteliti memiliki kemampuan untuk memperbaiki sifat kimia tanah seperti pH, C-organik, dan kapasitas tukar kation



tanah (Mautuka et al., 2022). Pratami et al. (2025) juga melaporkan bahwa biochar dapat meningkatkan struktur tanah, kapasitas retensi air, aktivitas mikroorganisme serta mampu menyimpan karbon dalam jangka panjang. Oleh karena itu, pengolahan jerami padi menjadi biochar tidak hanya mengurangi pencemaran lingkungan, tetapi juga memberikan nilai tambah dalam bentuk produk pembenah tanah yang mendukung pertanian berkelanjutan.

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan untuk memberikan alternatif solusi bagi permasalahan yang dialami oleh petani di Desa Diat. Melalui pendekatan edukatif dan partisipatif kegiatan ini diharapkan dapat meningkatkan pengetahuan dan keterampilan petani di Kelompok Tani Diat I, Bolaang Mongondow, dalam mengolah limbah jerami padi menjadi biochar melalui proses pirolisis sederhana yang dapat diterapkan secara mandiri. Selain itu, kegiatan ini bertujuan untuk mengenalkan biochar sebagai pembenah tanah yang ramah lingkungan, sekaligus mendorong perubahan pola pikir dan praktik pertanian petani dari pendekatan konvensional menuju praktik yang lebih berkelanjutan. Kegiatan ini juga dimaksudkan untuk mendukung implementasi kebijakan pemerintah daerah terkait pembangunan pertanian berkelanjutan, khususnya dalam pengelolaan limbah pertanian dan perbaikan kualitas lahan. Kegiatan ini juga mendukung Asta Cita Presiden dan Wapres dalam mendorong kemandirian bangsa melalui swasembada pangan, energi, dan air.

Manfaat kegiatan ini dirasakan dalam berbagai aspek. Bagi petani, pelatihan ini memberikan keterampilan praktis dalam pengolahan jerami padi menjadi produk yang bermanfaat, serta mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia dengan penggunaan pembenah tanah organik. Dari sisi lingkungan, kegiatan ini dapat membantu menekan praktik pembakaran jerami secara terbuka yang berdampak negatif terhadap kualitas udara, sekaligus memperbaiki struktur dan kesuburan tanah melalui aplikasi biochar. Bagi perguruan tinggi, kegiatan ini menjadi sarana nyata dalam menjalankan peran tridarma, khususnya dalam hal diseminasi teknologi tepat guna dan penguatan kemitraan dengan masyarakat serta pemangku kepentingan daerah. Harapan dari kegiatan ini adalah tumbuhnya kemandirian petani dalam memproduksi dan memanfaatkan biochar secara berkelanjutan di lahan pertanian mereka. Diharapkan pula akan muncul kesadaran kolektif petani terhadap pentingnya pengelolaan limbah pertanian secara produktif dan ramah lingkungan.

METODE KEGIATAN

Kegiatan ini merupakan kegiatan pengabdian kepada masyarakat yang dilaksanakan di Desa Diat, Kecamatan Lolak, Kabupaten Bolaang Mongondow, Sulawesi Utara pada Sabtu, 2 Agustus 2025. Mitra sasaran dalam kegiatan ini adalah Kelompok Tani Diat I. Kelompok Tani Diat I terdiri dari 12 orang anggota yang mengelola lahan pertanian seluas 15 Ha dengan komoditi padi dan jagung. Mitra sasaran memiliki permasalahan dari segi produksi dan manajemen. Adapun kegiatan PKM ini dimaksudkan untuk memberikan tawaran alternatif solusi untuk permasalahan tersebut. Metode dan tahapan kegiatan secara garis besar dapat diamati pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Pelaksanaan Kegiatan

Tahap pertama dimulai dengan identifikasi permasalahan, yang dilakukan melalui observasi lapangan, wawancara langsung dan diskusi dengan anggota Kelompok Tani Diat I. Hasil dari tahapan

ini menunjukkan bahwa setelah panen, jerami padi di wilayah tersebut cenderung dibakar atau dibiarkan membusuk, akibat minimnya pengetahuan dan keterampilan petani dalam mengelola limbah pertanian tersebut secara produktif. Selain itu, petani mengeluhkan penurunan kesuburan tanah dan tingginya ketergantungan terhadap pupuk kimia. Permasalahan ini diperkuat oleh minimnya akses terhadap teknologi pengolahan bahan organik yang sederhana dan terjangkau.

Tahap kedua adalah perancangan solusi, di mana tim pengabdian merancang kegiatan pelatihan pengolahan jerami menjadi biochar dengan metode pirolisis sederhana. Rancangan kegiatan ini mengacu pada prinsip teknologi tepat guna yang mudah diterapkan oleh petani dengan sumber daya yang tersedia secara lokal. Dalam tahap ini, dilakukan pula pembuatan modul pelatihan, penyusunan alat pirolisis skala kecil.

Tahap ketiga adalah pelaksanaan teknis di lapangan, yang dilaksanakan melalui serangkaian kegiatan. Pada tahap ini, tim pengabdian memberikan pelatihan kepada peserta. Tahap pertama adalah memberikan informasi awal kepada peserta mengenai dampak negatif penggunaan pupuk sintetik yang berlebihan bagi tanah pertanian dan pentingnya pengolahan jerami padi menjadi biochar. Metode penyampaian materi dilakukan melalui pertemuan dan diskusi dengan peserta serta menggunakan media pendukung seperti video edukasi dan modul pelatihan. Adapun materi pelatihan disampaikan oleh dua orang narasumber. Setelah mendapat materi, peserta juga diberikan pelatihan tentang cara pembuatan dan penggunaan biochar di lahan pertanian. Pelaksanaan pelatihan dilakukan dengan metode PLA (*Participatory Learning and Action*), artinya kombinasi antara teori dan praktik lapangan. Pelatihan ini meliputi teori dan praktik pembuatan biochar; pemanfaatan biochar sebagai pembenah tanah; dan pengenalan alat dan bahan pembuatan biochar. Peserta diajarkan cara mengolah jerami padi menggunakan teknik pirolisis untuk menghasilkan biochar yang berkualitas. Pelatihan ini juga mengedukasi bagaimana biochar dapat digunakan dalam praktik pertanian untuk memperbaiki kualitas tanah, meningkatkan daya serap air, serta mengurangi kebutuhan akan pupuk kimia.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat yang berfokus pada pengolahan jerami padi menjadi biochar telah dilaksanakan dengan mengikuti tiga tahapan utama, yaitu identifikasi permasalahan, perancangan solusi, dan pelaksanaan teknis di lapangan. Seluruh tahapan dilakukan secara partisipatif bersama Kelompok Tani Diat I, Bolaang Mongondow. Pada tahap identifikasi permasalahan, tim PkM melakukan observasi langsung ke lahan pertanian milik anggota kelompok tani dan melakukan wawancara mendalam dengan ketua kelompok. Hasil identifikasi menunjukkan bahwa jerami padi belum dimanfaatkan secara optimal. Mayoritas petani membakar jerami setelah panen sebagai cara cepat untuk membersihkan lahan, tanpa menyadari dampak negatifnya terhadap kualitas udara, kesehatan tanah, serta hilangnya potensi bahan organik. Selain itu, petani juga mengeluhkan turunnya produktivitas lahan dan ketergantungan terhadap pupuk kimia yang semakin mahal.

Menanggapi kondisi tersebut, tim PkM kemudian memasuki tahap perancangan solusi, yaitu dengan merancang pelatihan dan demonstrasi pengolahan jerami menjadi biochar melalui proses pirolisis sederhana. Teknologi ini dipilih karena prosesnya mudah dan efisien. Materi pelatihan disusun dalam bentuk modul sederhana dan disesuaikan dengan konteks lokal, agar mudah dipahami oleh petani. Selain itu, tim juga menyiapkan alat peraga dan bahan praktik

Tahap berikutnya adalah pelaksanaan teknis di lapangan, yang terdiri dari beberapa rangkaian kegiatan utama. Pertama, dilakukan sosialisasi program kepada anggota kelompok tani untuk menjelaskan tujuan, manfaat, dan jadwal kegiatan. Sosialisasi ini disambut antusias oleh petani, yang merasa kegiatan ini sangat relevan dengan kebutuhan mereka. Selanjutnya, dilaksanakan pelatihan teori dan praktik pembuatan biochar. Pada sesi teori, petani diperkenalkan dengan konsep biochar, manfaatnya bagi tanah, serta prinsip dasar pirolisis. Sesi ini disampaikan secara komunikatif dengan diskusi dan contoh visual seperti yang dapat diamati pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Kegiatan Pelatihan (a) Sambutan dari Ketua Tim PKM (b) Sesi Materi oleh Narasumber (c) Sesi Diskusi dan Tanya Jawab

Pada sesi praktik, petani diajak langsung mengolah jerami menjadi biochar menggunakan alat pirolisis sederhana yang telah disiapkan. Pirolisis merupakan istilah umum yang merujuk pada proses pemecahan material pada suhu yang relatif tinggi dan dalam keadaan atmosfer inert (Andoos et al., 2022). Ketika digunakan dalam pengolahan limbah, limbah dapat diubah menjadi tiga produk yang berbeda yaitu cair (minyak), padat (arang), dan gas (Kim et al., 2020). Pada kegiatan ini yang dihasilkan berupa padatan yaitu biochar. Biochar merupakan produk padatan dari pengolahan termal biomassa, dan dapat digunakan untuk meningkatkan kesehatan dan produktivitas tanah, penyerapan karbon tanah, penyerapan polutan dari air dan tanah, serta meningkatkan keberlanjutan lingkungan (Adhikari et al., 2022). Alat yang digunakan untuk membuat biochar adalah tabung kon-tiki dengan prinsip pirolisis. Kon-tiki untuk produksi biochar menggunakan teknik Klin (pembakaran langsung pada biomassa) yang terbuat dari plat besi berbentuk kerucut. Kon-tiki dipilih untuk pembuatan biochar karena konsentrasi CO dan NOx yang dihasilkan lebih rendah daripada metode pembuatan biochar yang lain (Hidayat & Prmuga, 2024). Adapun prosedur pembuatan biochar mengacu pada penelitian Darusman et al. (2023) yang dimodifikasi yaitu:

- 1) Jerami padi dikeringkan di bawah sinar matahari;
- 2) jerami padi kering dimasukkan ke dalam tabung sebanyak $\frac{3}{4}$ volume tabung kemudian dibakar;
- 3) setelah muncul api dan jerami padi terbakar, masukkan lagi jerami padi yang lain;
- 4) ulangi hingga tabung penuh;
- 5) jika jerami padi sudah berubah menjadi hitam, siram dengan air untuk menghentikan pembakaran agar arang tidak berubah menjadi abu.
- 6) hasil akhir dari proses ini adalah berupa biochar berwarna hitam.

Secara tampilan fisik, biochar memiliki bentuk yang sama dengan arang, namun biochar memiliki pori yang lebih besar, sehingga memiliki kemampuan untuk menjaga retensi pada tanah

(Agviolita et al., 2021). Gambar 3 menunjukkan praktik pembuatan biochar bersama peserta. Biochar yang dihasilkan juga ditempatkan pada tanaman cabai untuk mendemonstrasikan cara pengaplikasian biochar pada tanah yang telah ditanami.



Gambar 3. (a) Praktik Pembuatan Biochar (b) Biochar Jerami Padi (c) Pengaplikasian pada Tanaman Cabai

Untuk mengukur pemahaman tentang materi pelatihan, peserta diberikan kuesioner yang disebar sebelum dan setelah pelatihan. Berdasarkan hasil pre-test dan post-test yang diberikan kepada 15 orang peserta pelatihan yang terdiri dari 12 orang anggota kelompok tani dan 3 orang perangkat desa, diperoleh rata-rata skor pre-test adalah 2,8, sedangkan rata-rata skor post-test meningkat menjadi 7,9. Peningkatan ini menunjukkan adanya penambahan pemahaman peserta terhadap materi pelatihan pengolahan jerami padi menjadi biochar pembenah tanah. Selain itu, seluruh peserta menunjukkan peningkatan skor, dengan nilai gain score berkisar antara 3-7 poin. Hal ini mengindikasikan bahwa pelatihan berdampak positif terhadap pengetahuan peserta. Berdasarkan diskusi dengan peserta, pada dasarnya sebagian besar petani sudah biasa membakar jerami padi dan menaburkan ke tanah. Namun, hal tersebut dilakukan hanya berdasarkan kebiasaan. Petani tidak mengetahui teknik dan manfaat biochar secara tepat. Melalui kegiatan PkM ini, petani telah mengetahui tentang biochar, cara pembuatan dan manfaatnya bagi tanah secara ilmiah.

Untuk mengetahui apakah perbedaan skor pre-test dan post-test tersebut signifikan secara statistik, dilakukan uji t berpasangan (*paired sample t-test*). Hasil uji menunjukkan bahwa nilai t hitung sebesar 1,02 dengan nilai $p < 0,005$. Berdasarkan nilai tersebut, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil pre-test dan post-test peserta pelatihan. Artinya, pendekatan pelatihan yang digunakan layak untuk direplikasi pada kelompok tani lainnya yang memiliki

permasalahan serupa. Hal ini juga diperkuat oleh Widiastuti & Lantang (2017) dan Jannah dkk. (2024) yang telah berhasil menerapkan metode PLA dalam pelatihan kepada kelompok tani.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pelaksanaan kegiatan pengabdian kepada masyarakat, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Pengetahuan dan keterampilan petani meningkat setelah mengikuti pelatihan mengenai proses pirolisis jerami padi menjadi biochar. Petani memahami fungsi biochar sebagai pembenah tanah serta mampu mempraktikkan proses produksinya secara mandiri.
2. Kegiatan berjalan efektif dengan pendekatan edukatif-partisipatif, dan menjadi bentuk nyata kontribusi perguruan tinggi dalam membangun kapasitas masyarakat tani serta mendorong implementasi teknologi tepat guna berbasis lokal.
3. Kegiatan ini mendorong perubahan perilaku dan pola pikir petani ke arah pertanian berkelanjutan, sesuai dengan kebijakan pembangunan daerah dalam pengelolaan sumber daya lokal secara produktif.

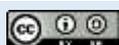
Adapun untuk meningkatkan efektivitas dan keberlanjutan kegiatan serupa di masa mendatang, sebaiknya diperluas cakupan sasaran kegiatan agar melibatkan kelompok tani lain dan lintas desa, sehingga dampak inovasi dapat dirasakan secara luas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (DPPM) 2025, Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan, Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Republik Indonesia yang telah memberi dukungan pendanaan untuk kegiatan ini. Terima kasih juga diucapkan untuk Universitas Negeri Manado yang telah memberikan dukungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhikari, S., Timms, W., & Mahmud, M. A. P. (2022). Optimising water holding capacity and hydrophobicity of biochar for soil amendment—A review. *Science of The Total Environment*, 851, 158043.
- Agviolita, P., Yushardi, Y., & Anggraeni, F. K. A. (2021). Pengaruh perbedaan biochar terhadap kemampuan menjaga retensi pada tanah. *Jurnal Fisika Unand*, 10(2), 267–273.
- AlGhifari, A. R., Dzakiah, L. D., & Asrin, L. K. J. (2019). Erosi sebagai penyebab utama degradasi lahan. *Agroteknologi*.
- Bolaang Mongondow Selatan. 2021. *Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah Tahun 2021-2026*. Bupati Bolaang Mongondow Selatan: Bolaang Mongondow Selatan. <https://cdn.bolselkab.go.id/portal-assets/live/b75b65fa-d19c-4a94-9b03-c23dd5776526.pdf>
- Amin, F. R., Huang, Y., He, Y., Zhang, R., Liu, G., & Chen, C. (2016). Biochar applications and modern techniques for characterization. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 18(5), 1457–1473.
- Andooz, A., Eqbalpour, M., Kowsari, E., Ramakrishna, S., & Cheshmeh, Z. A. (2022). A comprehensive review on pyrolysis of E-waste and its sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 333, 130191.
- Badan Pusat Statistik Sulawesi Utara. (2024). *Luas Panen, Produksi dan Rata-Rata Produksi Padi, 2022*. <https://sulut.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTE0lzl=/luas-panen--produksi-dan-rata-rata-produksi-padi.html>
- Darusman, D., Syakur, S., Hifnalisa, H., Basri, H., Manfarizah, M., & Zaitun, Z. (2023). Pelatihan Pembuatan Biochar untuk Peningkatan Kompetensi dan Keterampilan Mahasiswa. *Jurnal Pengabdian Aceh*, 3(2), 97–103.
- Hidayat, B., & Prmuga, A. (2024). Technique of Biochar Production. *JURNAL AGROTEKNOLOGI*, 12(3), 1–11.
- Jannah, M., Rampe, M. J., Hasmianti, H., & Undap, H. A. F. (2024). Pendampingan Pembuatan Asap Cair



- dari Limbah Jerami Padi untuk Bio-pestisida pada Kelompok Tani Diat 1, Bolaang Mongondow. *Jurnal ABDINUS: Jurnal Pengabdian Nusantara*, 8(3), 798–809.
- Kim, S., Lee, Y., Lin, K.-Y. A., Hong, E., Kwon, E. E., & Lee, J. (2020). The valorization of food waste via pyrolysis. *Journal of Cleaner Production*, 259, 120816.
- Kumar, A., & Bhattacharya, T. (2021). Biochar: a sustainable solution. *Environment, Development and Sustainability*, 23(5), 6642–6680.
- Mautuka, Z. A., Maifa, A., & Karbeka, M. (2022). Pemanfaatan biochar tongkol jagung guna perbaikan sifat kimia tanah lahan kering. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8(1), 201–208.
- Pahalvi, H. N., Rafiya, L., Rashid, S., Nisar, B., & Kamili, A. N. (2021). Chemical fertilizers and their impact on soil health. In *Microbiota and biofertilizers, Vol 2: Ecofriendly tools for reclamation of degraded soil environs* (pp. 1–20). Springer.
- Pratami, S., Fauzi, M. T., Sjah, T., & Sudharmawan, A. A. (2025). Potensi Biochar Limbah Rumput Laut dalam Meningkatkan Kesehatan Tanah di Lahan Kering dan Implikasinya terhadap Pendapatan Petani. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Agrokomplek*, 4(2), 451–457.
- Widiastuti, M. M. D., & Lantang, B. (2017). Pelatihan pembuatan biochar dari limbah sekam padi menggunakan metode retort kiln. *Agrokreatif: Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3(2), 129–135.