

**Inovasi Pertanian Sirkular Zero Waste Melalui Pemanfaatan Limbah Padi Menjadi Biochar dan Pupuk Organik Terhadap Pertumbuhan Tanaman Padi (*Oryza Sativa* L.)****Circular Agriculture Innovation through Zero Waste Approach: Utilization of Rice Waste into Biochar and Organic Fertilizer for the Growth of Rice (*Oryza sativa* L.)**Sri Wahyuni Basoka ^{*1}, Rachmi Hariaty Hasan ¹, Andi Awaluddin ¹, Minggu Lestari Ningsih ², Eko Aprianto Johan ³¹ Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia² Jurusan Agribisnis, Fakultas Pertanian, Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia³ Jurusan Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia

*Penulis Korespondensi

Email: sriwahyunibasoka@uho.ac.id

Abstrak. Limbah padi merupakan salah satu masalah lingkungan yang krusial di sektor pertanian. Dengan meningkatnya kebutuhan produk pangan dan perhatian terhadap keberlanjutan, pengelolaan limbah padi menjadi penting untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pemanfaatan limbah padi yang diolah menjadi biochar dan pupuk organik untuk meningkatkan pertumbuhan padi dalam sistem pertanian sirkular zero waste. Selain mengurangi potensi pencemaran lingkungan, manfaat penggunaan limbah padi ini adalah memberikan input pertanian bernilai tambah yang mampu memperbaiki sifat tanah serta mendukung keberlanjutan produksi pangan. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan lima perlakuan: P0 (kontrol), P1 (20 g biochar/polybag), P2 (20 g biochar + 10 g pupuk organik/polybag), P3 (20 g biochar + 20 g pupuk organik/polybag), dan P4 (20 g pupuk organik/polybag). Pengamatan dilakukan terhadap tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah anakan, serta kandungan C-organik tanah. Hasil analisis menunjukkan pengaruh sangat nyata pada semua parameter pertumbuhan tanaman, dengan P3 (20 g biochar + 20 g pupuk organik/polybag), dan P4 (20 g pupuk organik/polybag) sebagai perlakuan terbaik, sedangkan P0 memberikan hasil terendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah padi yang diolah menjadi biochar dan pupuk organik mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman padi (*Oryza sativa* L.), yang tercermin dari peningkatan tinggi tanaman, jumlah daun, dan jumlah anakan dibandingkan perlakuan kontrol (P0). Perlakuan kombinasi biochar dan pupuk organik pada P3 (20 g biochar + 20 g pupuk organik/polybag) memberikan hasil paling optimal dibandingkan perlakuan lainnya. Hal ini diduga karena kombinasi tersebut mampu memperbaiki kondisi media tanam menjadi lebih porus, aeratif, dan kaya unsur hara, sehingga mendukung penyerapan nutrisi dan pertumbuhan tanaman secara lebih baik.

Kata kunci: biochar, pupuk organik, limbah padi, zero waste, pertumbuhan padi.

Abstract. Rice waste is one of the critical environmental issues in the agricultural sector. With the increasing demand for food products and growing concern for sustainability, effective management of rice waste is essential to reduce its negative environmental impacts. This study aimed to evaluate the utilization of rice waste processed into biochar and organic fertilizer to enhance rice growth within a circular, zero-waste agricultural system. In addition to minimizing

*potential environmental pollution, the use of rice waste provides value-added agricultural inputs that improve soil properties and support sustainable food production. The experiment was conducted using a Randomized Block Design with five treatments: P0 (control), P1 (20 g biochar/polybag), P2 (20 g biochar + 10 g organic fertilizer/polybag), P3 (20 g biochar + 20 g organic fertilizer/polybag), and P4 (20 g organic fertilizer/polybag). Observations included plant height, number of leaves, number of tillers, and soil organic carbon content. The results showed highly significant effects on all plant growth parameters, with P3 identified as the best treatment, while P0 produced the lowest results. The results of this study indicate that the utilization of rice waste processed into biochar and organic fertilizer can enhance the growth of rice (*Oryza sativa* L.), as reflected by increases in plant height, leaf number, and tiller number compared to the control treatment (P0). The combined application of biochar and organic fertilizer in P3 (20 g biochar + 20 g organic fertilizer per polybag) produced the most optimal results among all treatments. This is presumably due to the improved growing media conditions, which became more porous, well-aerated, and nutrient-rich, thereby supporting better nutrient uptake and overall plant growth.*

Keywords: *biochar, organic fertilizer, rice waste utilization, zero-waste agriculture, rice growth.*

1. Pendahuluan

Padi (*Oryza sativa*) merupakan komoditas pangan strategis di Indonesia sekaligus sumber utama karbohidrat bagi masyarakat. Konsumsi beras sebagai makanan pokok menjadikan keberlanjutan produksi padi sebagai faktor kunci dalam menjaga ketahanan pangan nasional, sehingga ketersediaannya berperan penting dalam menentukan kecukupan pangan masyarakat dan stabilitas pangan Indonesia (Marizka *et al.*, 2024).

Sulawesi Tenggara menjadi salah satu provinsi di Indonesia yang berkontribusi dalam ketahanan pangan. Produksi padi di Sulawesi Tenggara pada 2023 tercatat 479,41 ribu ton GKG atau setara 317,56 ribu ton beras, sedangkan kebutuhan beras masyarakat diperkirakan sekitar 260–270 ribu ton/tahun. Dengan demikian, Sulawesi Tenggara memiliki surplus ± 40 –50 ribu ton beras/tahun (Badan Pusat Statistik Sulawesi Tenggara, 2025). Produksi padi yang tinggi juga menghasilkan limbah pertanian yang signifikan berupa jerami, sekam, dan dedak. Sebagian besar limbah ini masih dibakar atau ditinggalkan, sehingga menimbulkan emisi gas rumah kaca dan pencemaran lingkungan. Apabila limbah sekam padi yang berskala besar tidak dikelola dengan optimal maka berpotensi menimbulkan dampak negatif berupa pencemaran lingkungan. Limbah pertanian apabila diproses secara alami berlangsung lambat sehingga menjadi penyebab pencemaran lingkungan juga pada kesehatan manusia (Nadiyya *et al.*, 2022).

Limbah pertanian memiliki potensi besar untuk diolah menjadi input pertanian baru dalam kerangka pertanian sirkular. Salah satu inovasi yang banyak diteliti adalah pemanfaatan limbah padi menjadi biochar dan pupuk organik. Penelitian Lestari *et al.* (2022) menunjukkan bahwa penggunaan biochar sekam padi pada tanah sawah berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan vegetatif yang ditunjukkan pada jumlah anakan maksimum paling tinggi yaitu 19,1 anakan, dengan pemberian biochar sekam padi 10 ton ha⁻¹ dapat meningkatkan jumlah anakan sebesar 11%

dibanding dengan tanpa pemberian biochar sekam padi. Hasil penelitian [Bilhuda et al. \(2024\)](#) menuliskan bahwa aplikasi kombinasi pupuk organik kotoran ayam dan biochar sekam padi dapat meningkatkan pH tanah mendekati netral, peningkatan N total, P total, K total, dan ketersediaan unsur P. Penggunaan campuran kotoran ayam dan biochar sekam padi memiliki dampak signifikan terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman. Lebih lanjut hasil penelitian [Khan et al. \(2023\)](#) mengemukakan bahwa penggunaan biochar merupakan strategi berkelanjutan untuk meningkatkan efisiensi pupuk nitrogen, memperbaiki kualitas tanah dan air, serta mendukung produktivitas pertanian. Di Indonesia, [Suharyatun et al. \(2021\)](#) melaporkan bahwa kombinasi biochar arang sekam dan pupuk organik berbasis mikroba mampu meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman sayuran dibandingkan perlakuan tunggal. Secara kuantitatif, pada umur 28 hari setelah tanam, perlakuan kombinasi menghasilkan tinggi tanaman sebesar 32,30 cm, lebih tinggi dibandingkan pupuk organik berbasis mikroba saja (26,67 cm), biochar saja (30,90 cm), dan kontrol (20,41 cm). Selain itu, total brangkasan tanaman pada perlakuan kombinasi mencapai 60,29 g, jauh lebih tinggi dibandingkan pupuk organik berbasis mikroba (26,00 g), biochar (37,00 g), dan kontrol (10,29 g).

Konsep ini sejalan dengan gagasan *zero waste agriculture*, yaitu memanfaatkan kembali residu pertanian menjadi sumber daya baru. Limbah jerami padi dapat dimanfaatkan secara optimal untuk mendukung ketahanan energi terbarukan sekaligus mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan memperkuat ketahanan energi nasional ([Prawitasari, 2025](#)). Selain itu, pengembalian jerami ke tanah dapat meningkatkan efisiensi penggunaan hara dan produktivitas tanaman, serta berperan dalam memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah secara berkelanjutan ([Zhao et al., 2016](#)). Dari sisi lingkungan, pemanfaatan jerami padi sebagai pupuk organik juga menjadi solusi untuk mengurangi praktik pembakaran terbuka yang dapat menyebabkan emisi gas rumah kaca dan kehilangan unsur hara penting ([Gadde et al., 2009](#)).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan memanfaatkan limbah padi menjadi biochar dan pupuk organik untuk memperbaiki kualitas tanah dan meningkatkan pertumbuhan tanaman padi. Hasil penelitian diharapkan memberikan kontribusi nyata dalam menciptakan sistem produksi padi yang ramah lingkungan, efisien, dan mendukung ketahanan pangan, khususnya di Sulawesi Tenggara.

2. Bahan dan Metode

2.1. Lokasi dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilaksanakan di Kebun Percobaan Fakultas Pertanian Universitas Halu Oleo. Penelitian ini berlangsung pada bulan September sampai Desember 2025.

2.2. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah benih padi varietas inpari 32, biochar dari sekam padi, pupuk organik dari limbah jerami padi dan air.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah cangkul, polybag, oven, timbangan, mistar, selang, ember, paranet, tali rafia, gembor, parang, meteran, palu, baki, kamera dan alat tulis menulis.

2.3 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan lima perlakuan dan empat ulangan, sehingga secara keseluruhan terdapat 20 unit percobaan. Setiap unit percobaan menggunakan media tanam dalam polybag berisi 5 kg tanah yang diberi perlakuan sesuai dengan rancangan. Adapun perlakuan yang dicobakan adalah sebagai berikut: P0 yaitu kontrol tanpa penambahan biochar maupun pupuk organik, perlakuan P1 = 20 g biochar/polybag, P2 = 20 g biochar + 10 g pupuk organik/polybag, P3 = 20 g biochar + 20 g pupuk organik/polybag dan P4 = 20 g pupuk organik/polybag.

2.4 Tahapan Pelaksanaan

2.4.1 Pengumpulan dan persiapan bahan baku limbah padi

Pengumpulan dan persiapan bahan baku limbah padi dilakukan dengan cara mengumpulkan limbah padi berupa jerami dan sekam padi dari sumber lokal, kemudian memisahkan kontaminan (plastik, batu), lalu keringkan sampai kadar air rendah untuk biochar, dan simpan bahan untuk pembuatan pupuk organik.

2.4.2 Pembuatan biochar sekam padi.

Produksi biochar dilakukan dengan metode pirolisis sederhana (tanur tertutup/retort atau kiln skala kecil) pada suhu yang dikontrol (umumnya 350–500°C) sampai proses pirolisis selesai. Setelah dingin, ayak biochar untuk mendapatkan ukuran partikel seragam (mis. <5 mm) dan simpan di tempat kering.

2.4.3 Pembuatan pupuk organik dari limbah padi (kompos/fermentasi).

Jerami padi di potong 5-10 cm, kemudian jerami padi dicampur dengan dedak. Lalu disiram dengan larutan EM4 yang sudah di larutkan oleh air dengan gula merah. Dengan takaran 30 kg jerami padi, 2 kg dedak, 500 ml EM4 dan 100 g gula merah. Pencampuran dan pengadukan hingga merata dan di tutup dengan terpal sehingga udara di dalam tumpukkan terkontrol dan stabil.

2.4.4 Persiapan benih dan penanaman

Siapkan benih padi varietas inpari 32, kemudian lakukan persemaian di tray/petak semai dan rawat sampai umur siap pindah (sesuai praktik varietas). Tanam bibit ke polybag.

2.4.5 Aplikasi perlakuan

Aplikasi biochar dan pupuk organik dilakukan sebanyak dua kali sesuai dosis yang telah ditentukan. Aplikasi pertama dilakukan sebelum tanam dengan cara dicampur ke lapisan atas tanah. Aplikasi kedua dilakukan pada 3 MST.

2.4.6 Pemeliharaan tanaman.

Pemeliharaan seragam pada semua perlakuan meliputi penyiraman, penyiangan dan pengendalian hama/penyakit.

2.4.7 Pengamatan pertumbuhan dan kesehatan tanaman.

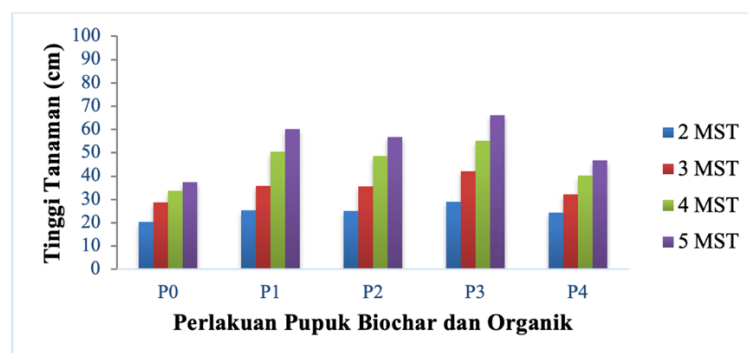
Pengamatan berkala 2 minggu setelah tanam (2 MST, 3 MST, 4 MST, dan 5 MST). Variabel yang diamati meliputi: tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah rumpun dan analisis C-Organik.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Penelitian

3.1.1 Tinggi Tanaman

Hasil pengamatan tinggi tanaman dapat dilihat pada [Gambar 1](#) dan [Tabel 1](#). [Gambar 1](#) dan [Tabel 1](#) secara bersama-sama menggambarkan dinamika pertumbuhan tinggi tanaman pada berbagai perlakuan (P0–P4) selama periode pengamatan 2 hingga 5 minggu setelah tanam (MST). [Gambar 1](#) menunjukkan dinamika pertumbuhan tanaman, yang memperlihatkan pola peningkatan tinggi tanaman secara bertahap seiring bertambahnya umur tanaman pada setiap perlakuan. [Tabel 1](#) menyajikan nilai rata-rata tinggi tanaman pada setiap waktu pengamatan, disertai hasil uji BNT pada taraf kepercayaan 5% untuk menunjukkan perbedaan nyata antar perlakuan. Berdasarkan hasil tersebut, terlihat bahwa perlakuan P3 secara konsisten menghasilkan tinggi tanaman tertinggi pada seluruh waktu pengamatan, diikuti oleh P1 dan P2, sedangkan P4 dan kontrol (P0) menunjukkan pertumbuhan yang lebih rendah.



Gambar 1. Dinamika pertumbuhan tinggi tanaman padi.

Hasil pengamatan terhadap tinggi tanaman pada [Tabel 1](#) dari berbagai perlakuan menunjukkan adanya peningkatan yang progresif seiring dengan bertambahnya umur tanaman dari 2 hingga 5 minggu setelah tanam (MST). Secara umum, setiap perlakuan memperlihatkan pola

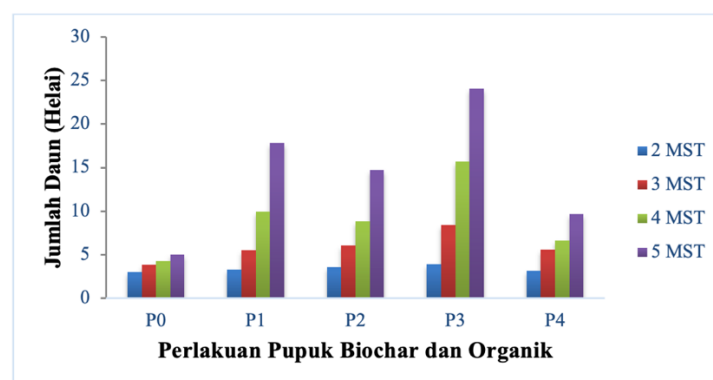
pertumbuhan yang meningkat, namun dengan tingkat pertambahan yang berbeda antar perlakuan. Perlakuan 20 g biochar + 20 g pupuk organik menghasilkan tinggi tanaman tertinggi, yaitu 66,2 cm, diikuti oleh perlakuan 20 g biochar sebesar 60,2 cm dan perlakuan 20 g biochar + 10 g pupuk organik sebesar 56,7 cm. Sementara itu, perlakuan 20 g pupuk organik memiliki tinggi tanaman 46,9 cm, dan perlakuan kontrol tanpa penambahan biochar maupun pupuk organik menunjukkan hasil terendah dengan tinggi tanaman hanya 37,5 cm.

Tabel 1. Rata-Rata Tinggi Tanaman Padi.

Perlakuan	2 MST	3 MST	4 MST	5 MST
P0	20,3 ^c	28,7 ^d	33,7 ^d	37,4 ^c
P1	25,3 ^b	35,9 ^b	50,5 ^b	60,2 ^b
P2	25,0 ^b	35,6 ^b	48,7 ^b	56,6 ^c
P3	29,0 ^a	42,1 ^a	55,1 ^a	66,1 ^a
P4	24,3 ^b	32,1 ^c	40,3 ^c	46,8 ^d
UJBD _{$\alpha=0.05$}	2 = 1,603	1,769	3,727	2,808
	3 = 1,678	1,852	3,901	2,939
	4 = 1,723	1,902	4,006	3,018
	5 = 1,753	1,935	4,077	3,071

3.1.2 Jumlah Daun

Gambar 2 dan Tabel 2 berikut secara keseluruhan menggambarkan perkembangan jumlah daun tanaman pada berbagai perlakuan (P0–P4) selama masa pengamatan dari 2 hingga 5 minggu setelah tanam (MST). Grafik menampilkan dinamika pertumbuhan jumlah daun, yang memperlihatkan peningkatan jumlah daun pada setiap perlakuan seiring bertambahnya umur tanaman. Sementara itu, Tabel 2 menyajikan rata-rata jumlah daun beserta hasil uji BNJ (UJBD) pada taraf kepercayaan 5%, yang digunakan untuk menunjukkan perbedaan nyata antar perlakuan. Hasil pengamatan memperlihatkan bahwa perlakuan P3 secara konsisten menghasilkan jumlah daun terbanyak pada seluruh waktu pengamatan, diikuti oleh P1 dan P2, sedangkan P4 serta kontrol (P0) memiliki jumlah daun yang lebih sedikit.



Gambar 2. Dinamika pertumbuhan jumlah daun tanaman padi.

Berdasarkan data pada Tabel 2 dan Gambar 2, jumlah daun tanaman menunjukkan peningkatan seiring dengan bertambahnya umur tanaman pada seluruh perlakuan. Secara umum, perlakuan P3 menghasilkan jumlah daun tertinggi pada setiap waktu pengamatan, diikuti oleh P1

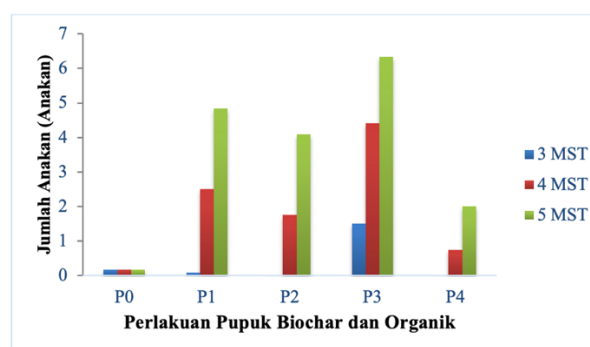
dan P2, sedangkan P4 dan P0 (kontrol) menunjukkan jumlah daun yang lebih sedikit. Pada pengamatan 2 MST, rata-rata jumlah daun berkisar antara 3,0–3,9 helai, di mana P3 menunjukkan nilai tertinggi. Perbedaan antar perlakuan semakin nyata pada minggu-minggu berikutnya, terutama mulai 4 MST, ketika P3 mencapai 15,7 helai dibandingkan dengan P0 yang hanya 4,3 helai. Peningkatan paling signifikan terjadi pada 5 MST, dengan jumlah daun tertinggi pada P3 sebesar 24,1 helai, sedangkan terendah pada P0 sebesar 5,0 helai.

Tabel 2. Rata-Rata Jumlah Daun Padi.

Perlakuan	2 MST	3 MST	4 MST	5 MST
P0	3,0 ^c	3,8 ^c	4,3 ^d	5,0 ^d
P1	3,2 ^{bc}	5,5 ^b	9,9 ^b	17,8 ^b
P2	3,5 ^{ab}	6,1 ^b	8,8 ^b	14,8 ^b
P3	3,9 ^a	8,4 ^a	15,7 ^a	24,1 ^a
P4	3,1 ^{bc}	5,5 ^b	6,6 ^c	9,7 ^c
UJBD _{$\alpha=0.05$}	2 = 0,528	1,024	2,094	3,811
	3 = 0,553	1,072	2,192	3,989
	4 = 0,568	1,101	2,251	4,097
	5 = 0,578	1,120	2,290	4,168

3.1.3 Jumlah Anakan

Hasil pengamatan rata-rata jumlah anakan tanaman padi dapat dilihat pada [Gambar 3](#) dan [Tabel 3](#). [Gambar 3](#) dan [Tabel 3](#) memperlihatkan perkembangan jumlah anakan tanaman pada berbagai perlakuan (P0–P4) yang diamati selama tiga periode pengamatan, yaitu pada 3, 4, dan 5 minggu setelah tanam (MST). Grafik menunjukkan dinamika pertumbuhan jumlah anakan, di mana terjadi peningkatan jumlah anakan pada beberapa perlakuan seiring bertambahnya umur tanaman. Sementara itu, [Tabel 3](#) menyajikan nilai rata-rata jumlah anakan beserta hasil uji BNJ (UJBD) pada taraf kepercayaan 5%, yang menunjukkan adanya perbedaan nyata antar perlakuan.



Gambar 3 . Dinamika pertumbuhan jumlah anakan tanaman padi.

Berdasarkan hasil pengamatan yang disajikan pada [Tabel 3](#) dan [Gambar 3](#), jumlah anakan tanaman menunjukkan peningkatan seiring dengan bertambahnya umur tanaman pada semua perlakuan. peningkatan yang paling nyata terjadi pada perlakuan P3, yang secara konsisten menghasilkan jumlah anakan tertinggi pada setiap waktu pengamatan. Pada 3 MST, jumlah anakan tertinggi diperoleh pada P3 sebesar 1,5 anakan, sedangkan perlakuan lain belum menunjukkan

pertumbuhan anakan yang berarti. Pada 4 MST, jumlah anakan pada P3 meningkat menjadi 4,4 anakan, diikuti oleh P1 (2,5 anakan) dan P2 (1,8 anakan), sedangkan P0 dan P4 masih menunjukkan pertumbuhan yang relatif rendah. Peningkatan jumlah anakan terus berlanjut hingga 5 MST, dengan P3 mencapai 6,3 anakan, jauh lebih tinggi dibandingkan P0 (0,2 anakan) sebagai kontrol.

Tabel 3. Rata-Rata Jumlah Anakan.

Perlakuan	3 MST	4 MST	5 MST
P0	0,2 ^b	0,2 ^d	0,2 ^d
P1	0,1 ^b	2,5 ^b	4,8 ^b
P2	0,0 ^b	1,8 ^c	4,1 ^b
P3	1,5 ^a	4,4 ^a	6,3 ^a
P4	0,0 ^b	0,8 ^d	2,0 ^c
UJBD _{$\alpha=0.05$}	2 = 0,464	0,763	0,981
	3 = 0,486	0,799	1,027
	4 = 0,499	0,82	1,055
	5 = 0,508	0,835	1,073

3.1.3 Nilai C-Organik

Hasil analisis C-Organik disajikan pada Tabel 4. Tabel 4 menyajikan hasil analisis kandungan C-organik pada sampel tanah dari setiap perlakuan penelitian, yaitu P0 hingga P4. Pengujian dilakukan untuk mengetahui perubahan kadar karbon organik tanah akibat aplikasi biochar dan pupuk organik pada berbagai kombinasi perlakuan.

Tabel 4. Hasil analisis C-Organik.

Kode Sampel	Parameter	Satuan	Hasil Uji	Persyaratan Mutu	Metode Uji
P0 (4) I	C-Organik	%	1.49	-	Balitan Bogor, 2009. Hal. 27
P1 (4) II	C-Organik	%	1.61	-	Balitan Bogor, 2009. Hal. 27
P2 (4) II	C-Organik	%	1.53	-	Balitan Bogor, 2009. Hal. 27
P3 (4) II	C-Organik	%	1.28	-	Balitan Bogor, 2009. Hal. 27
P4 (4) I	C-Organik	%	1.57	-	Balitan Bogor, 2009. Hal. 27

3.2 Pembahasan

Ekonomi sirkular merupakan salah satu cara terbaik untuk penerapan sistem pertanian terpadu berbasis zero waste untuk meningkatkan ketahanan pangan. Konsep Zero Waste bertujuan untuk mengoptimalkan pemanfaatan limbah pertanian sehingga tidak ada yang terbuang percuma. Pendekatan ini melibatkan pengelolaan limbah menjadi produk yang memiliki nilai ekonomi atau dapat digunakan kembali dalam proses produksi. Salah satu contohnya adalah pemanfaatan limbah sekam padi, yang biasanya dibakar dan menciptakan polusi menjadi biochar yang bisa digunakan sebagai sumber energi alternatif. Dengan mengimplementasikan konsep zero waste, petani tidak hanya mampu mengurangi dampak negatif lingkungan tetapi juga menghasilkan produk tambahan yang bernilai ekonomi, seperti briket dari sekam padi yang dapat dijual atau dimanfaatkan sendiri

(Sudrajat *et al.*, 2025), selain itu pemanfaatan limbah padi juga dapat diolah menjadi pupuk organik seperti kompos. Pengolahan limbah pertanian menjadi kompos atau produk lain merupakan pendekatan yang terbukti efektif dan berkelanjutan (Dwi *et al.*, 2025; Kharisma *et al.*, 2023; Widiastuti, 2016).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah padi sebagai biochar dan pupuk organik dalam sistem pertanian sirkular *zero waste* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap pertumbuhan tanaman padi (*Oryza sativa L.*). Perlakuan P3 (20 g biochar + 20 g pupuk organik/polybag), dan P4 (20 g pupuk organik/polybag), yang merupakan kombinasi terbaik dari biochar dan pupuk organik hasil olahan limbah padi, secara konsisten menunjukkan peningkatan tertinggi pada semua parameter pertumbuhan, yaitu tinggi tanaman, jumlah daun, dan jumlah anakan, dibandingkan perlakuan lainnya. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa penambahan biochar dan pupuk organik memberikan pengaruh signifikan terhadap tinggi tanaman pada seluruh waktu pengamatan (2–5 MST).

Perlakuan P3 konsisten menghasilkan tinggi tanaman tertinggi pada setiap tahap, yaitu 29,0 cm (2 MST), 42,1 cm (3 MST), 55,1 cm (4 MST), dan 66,1 cm (5 MST). Kombinasi biochar dan pupuk organik pada penelitian ini diduga menciptakan kondisi media tanam yang lebih porus, aeratif, serta kaya unsur hara. Biochar berperan meningkatkan struktur tanah dan kapasitas tukar kation (KTK), sementara pupuk organik menyediakan unsur hara makro dan mikro yang siap digunakan tanaman. Sebaliknya, P0 sebagai kontrol menunjukkan pertumbuhan terendah pada seluruh periode pengamatan. Tidak adanya bahan pembenah tanah menyebabkan media tanam tetap keras, miskin hara, serta kurang mendukung perkembangan akar. Perlakuan tunggal seperti P1 (biochar saja) dan P4 (pupuk organik saja) menunjukkan peningkatan pertumbuhan dibanding kontrol, namun tidak sebaik perlakuan kombinasi. Hal ini menegaskan bahwa interaksi biochar dan pupuk organik lebih efektif dibanding penggunaan salah satu bahan saja. Sejalan dengan Lehmann and Joseph (2015) mengemukakan bahwa aplikasi biochar dari limbah padi mampu memperbaiki struktur tanah, meningkatkan porositas, serta efisiensi penyerapan air dan nutrisi. Biochar diketahui memiliki kemampuan mengikat unsur hara dan memperlambat pencuciannya, sehingga unsur hara seperti nitrogen, fosfor, dan kalium dapat tersedia lebih lama bagi tanaman.

Jumlah daun juga menunjukkan respons yang sejalan dengan variabel tinggi tanaman. Perlakuan P3 memberikan hasil terbaik, yaitu masing-masing 3,9 helai (2 MST), 8,4 helai (3 MST), 15,7 helai (4 MST), dan 24,1 helai (5 MST). Peningkatan jumlah daun pada P3 menunjukkan bahwa ketersediaan hara dan kondisi fisik tanah yang membaik mampu merangsang pembentukan organ vegetatif secara optimal. Jumlah daun yang tinggi merupakan indikator keberhasilan tanaman dalam melakukan fotosintesis dan pengembangan biomassa vegetatif.

Perlakuan P1 dan P2 memperlihatkan respon pertumbuhan yang cukup baik. P4 menunjukkan peningkatan, tetapi tidak setinggi perlakuan yang mengandung biochar. Tanpa penambahan bahan organik maupun biochar (P0), jumlah daun tetap yang paling sedikit hingga akhir pengamatan, menunjukkan keterbatasan unsur hara dan kondisi media tanam yang kurang mendukung. Kondisi media tanam yang baik ditandai oleh struktur tanah yang gembur, porositas dan aerasi yang tinggi, kemampuan menahan air yang cukup, serta ketersediaan unsur hara makro dan mikro yang seimbang, sehingga mendukung aktivitas akar dan mikroorganisme tanah.

Variabel jumlah anakan menunjukkan pola respons yang serupa dengan tinggi tanaman dan jumlah daun. Pada 3–5 MST, perlakuan P3 menghasilkan jumlah anakan tertinggi, yaitu 1,5 anakan (3 MST), 4,4 anakan (4 MST), dan 6,3 anakan (5 MST). Pembentukan anakan sangat dipengaruhi oleh ketersediaan hara, terutama nitrogen, serta kondisi media yang baik untuk perkembangan akar lateral. Kombinasi biochar dan pupuk organik di P3 memberikan keseimbangan tersebut sehingga merangsang pembentukan anakan lebih intensif. Kombinasi biochar dan pupuk organik pada P3 menciptakan keseimbangan antara perbaikan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah, di mana biochar meningkatkan porositas, aerasi, serta kapasitas tukar kation (KTK).

Perlakuan P1 dan P2 memberikan hasil anakan yang cukup tinggi, namun tetap berada di bawah P3. P4 menghasilkan jumlah anakan yang lebih rendah dibandingkan perlakuan yang mengandung biochar. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun pupuk organik mampu menyediakan nutrisi, keberadaan biochar dapat memperbaiki lingkungan perakaran dan meningkatkan efisiensi penyerapan hara, sehingga menghasilkan anakan lebih banyak. Sementara itu, P0 memiliki jumlah anakan paling sedikit pada seluruh periode pengamatan, yang menunjukkan bahwa tanpa tambahan hara dan pembenah tanah, tanaman mengalami keterbatasan ketersediaan unsur hara serta kondisi media tanam yang kurang mendukung perkembangan sistem perakaran dan proses fisiologis tanaman, seperti fotosintesis dan pembentukan biomassa, yang berperan penting dalam pembentukan anakan.

Secara umum, perlakuan P3 memberikan pengaruh konsisten terbaik pada semua variabel yaitu tinggi tanaman, jumlah daun, luas daun yang menunjukkan bahwa kombinasi biochar dan pupuk organik dalam dosis optimal secara sinergis meningkatkan kualitas media tanam. Biochar memperbaiki struktur tanah, meningkatkan aerasi dan retensi air, sementara pupuk organik menjadi sumber hara yang diperlukan untuk pertumbuhan vegetatif. Sebaliknya, kontrol (P0) selalu memiliki nilai terendah, menegaskan bahwa tanpa penambahan bahan pembenah tanah maupun sumber hara tambahan, pertumbuhan vegetatif tanaman sangat terbatas. Hubungan antar variabel dapat dilihat bahwa perlakuan yang menghasilkan tinggi tanaman lebih besar juga

memiliki jumlah daun dan luas daun lebih besar. Ini menunjukkan bahwa peningkatan fotosintesis mendukung pertumbuhan biomass tanaman secara keseluruhan. Biochar dengan kemampuannya memperbaiki struktur tanah, meningkatkan aerasi, retensi air, dan kapasitas tukar kation (KTK), menciptakan lingkungan perakaran yang lebih sehat dan kondusif bagi pertumbuhan tanaman. Sementara itu, pupuk organik menyediakan nutrisi penting yang dibutuhkan tanaman untuk pertumbuhan vegetatif yang optimal (Anwar *et al.*, 2024; Uswanti *et al.*, 2023)

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa implementasi sistem pertanian sirkular zero waste dengan memanfaatkan limbah padi menjadi biochar dan pupuk organik memberikan dampak positif signifikan terhadap pertumbuhan tanaman padi. Pemanfaatan limbah padi tidak hanya mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, tetapi juga meningkatkan produktivitas tanaman. Hal ini sejalan dengan penelitian Mon *et al.* (2024) yang menunjukkan bahwa kombinasi biochar sekam padi dan pupuk organik secara signifikan meningkatkan sifat fisik dan kimia tanah, seperti kandungan C-organik, ketersediaan hara, dan kapasitas tukar kation, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap peningkatan pertumbuhan dan produktivitas tanaman padi serta mendukung pengelolaan limbah pertanian yang ramah lingkungan. Kombinasi biochar dan pupuk organik (P3) terbukti menjadi perlakuan terbaik karena menghasilkan pertumbuhan tanaman yang paling optimal pada semua parameter yang diukur, yaitu tinggi tanaman, jumlah daun, dan jumlah anakan. Hal ini menunjukkan bahwa sinergi antara biochar dan pupuk organik menciptakan lingkungan pertumbuhan yang ideal bagi tanaman padi (Masulili *et al.*, 2024; Suharyatun *et al.*, 2021).

Hasil analisis C-organik menunjukkan variasi nilai antara 1,28%–1,61%. Perlakuan dengan pertumbuhan tanaman terbaik (P3) justru memiliki nilai C-organik terendah yaitu 1,28%. Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada P3, tanaman tumbuh lebih aktif dan cepat sehingga fraksi karbon organik lebih banyak terdekomposisi dan terserap untuk mendukung pertumbuhan. Rendahnya kadar C-organik pada perlakuan ini mencerminkan efisiensi pemanfaatan bahan organik oleh tanaman, bukan penurunan kualitas tanah. Sebaliknya, nilai C-organik pada P1 (1,61%) dan P4 (1,57%) relatif lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa pada perlakuan dengan pertumbuhan tanaman lebih rendah, sebagian bahan organik belum sepenuhnya terdekomposisi. Dengan demikian, tingginya nilai C-organik pada perlakuan tersebut tidak selalu mencerminkan kondisi tanah yang lebih baik, melainkan rendahnya aktivitas pemanfaatan karbon oleh tanaman.

Temuan menarik terkait kadar C-organik menunjukkan bahwa nilai yang lebih rendah pada perlakuan terbaik (P3) justru mengindikasikan efisiensi pemanfaatan karbon oleh tanaman. Hal ini menegaskan pentingnya mempertimbangkan konteks dan interpretasi data yang cermat dalam memahami dinamika interaksi antara tanah, tanaman, dan mikroorganisme. Meskipun kadar C-

organik yang tinggi seringkali dianggap sebagai indikator kualitas tanah yang baik, dalam konteks penelitian ini, rendahnya kadar C-organik pada P3 justru menunjukkan bahwa tanaman mampu memanfaatkan karbon organik dengan lebih efisien untuk mendukung pertumbuhan yang pesat (Ermadani *et al.*, 2018).

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan bukti empiris yang kuat tentang manfaat implementasi sistem pertanian sirkular *zero waste* dalam meningkatkan produktivitas tanaman padi dan mendukung praktik pertanian berkelanjutan. Hasil penelitian ini dapat menjadi landasan bagi pengembangan dan penerapan teknologi pertanian yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan, khususnya dalam pengelolaan limbah pertanian dan peningkatan efisiensi penggunaan sumber daya (Susilo *et al.*, 2021). Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengoptimalkan dosis dan kombinasi biochar dan pupuk organik, serta untuk mengeksplorasi potensi pemanfaatan limbah pertanian lainnya dalam sistem pertanian sirkular *zero waste*. Implikasi praktis dari penelitian ini sangat signifikan, karena mendorong petani untuk beralih dari praktik pertanian konvensional yang boros sumber daya dan menghasilkan limbah, menuju sistem pertanian yang lebih efisien, berkelanjutan, dan ramah lingkungan (Al-Hafiz *et al.*, 2023; Kusmiati *et al.*, 2023). Dengan mengadopsi prinsip-prinsip ekonomi sirkular dan memanfaatkan limbah pertanian sebagai sumber daya, petani dapat meningkatkan produktivitas tanaman, mengurangi biaya produksi, dan berkontribusi pada pelestarian lingkungan.

4. Kesimpulan

Pemanfaatan limbah padi yang diolah menjadi biochar dan pupuk organik mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman padi (*Oryza sativa L.*), yang ditunjukkan oleh peningkatan tinggi tanaman, jumlah daun, dan jumlah anakan dibandingkan kontrol (P0). berpengaruh nyata terhadap Perlakuan kombinasi biochar dan pupuk organik P3 (20 g biochar + 20 g pupuk organik/polybag) memberikan hasil terbaik karena menciptakan media tanam yang lebih porous, aeratif, dan kaya unsur hara, sehingga mendukung penyerapan nutrisi dan pertumbuhan tanaman secara optimal.

Singkatan yang Digunakan

MST	Minggu Setelah Tanam
RAK	Rancangan Acak Kelompok
KTK	Kapasitas Tukar Kation
GKG	Gabah Kering Giling

Pernyataan Ketersediaan Data

Kami bersedia memberikan bantuan yang melibatkan gambar dan data asli kami jika penulis yang bersangkutan dihubungi.

Kontribusi Para Penulis

Sri Wahyuni Basoka: perencanaan, pelaksanaan, analisis data, serta penyusunan laporan penelitian. **Rachmi Hariaty Hasan:** persiapan bahan dan alat penelitian, proses pembuatan biochar dan pupuk organik, serta pengamatan dan perawatan tanaman di lapangan. **Andi Awaluddin:** berperan dalam pelaksanaan analisis laboratorium, khususnya analisis kandungan C-organik, serta membantu kegiatan pengamatan dan dokumentasi hasil penelitian. **Minggu Lestari Ningsih:** berkontribusi dalam pengambilan sampel, pengumpulan data pendukung, serta mendukung aspek administrasi dan pelaporan penelitian. Seluruh penulis turut berkontribusi dalam peninjauan hasil dan penyusunan naskah akhir artikel.

Pernyataan Konflik Kepentingan

Para penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan atau kepentingan bersaing.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Rektor Universitas Halu Oleo atas dukungan pendanaan melalui Program Hibah Penelitian Dosen Pemula Internal Universitas Halu Oleo, yang telah memungkinkan terlaksananya penelitian ini dengan baik. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Halu Oleo, yang telah menyediakan fasilitas, sarana, dan dukungan teknis selama pelaksanaan kegiatan penelitian, serta keluarga penulis yang selalu memberikan dukungan dan do'a agar penelitian ini terlaksana dengan baik. Dukungan dan kerja sama dari seluruh pihak yang terlibat menjadi faktor penting dalam keberhasilan penelitian ini. Penulis berharap hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan kemajuan bidang pertanian di Indonesia, khususnya di lingkungan Universitas Halu Oleo.

Daftar Pustaka

- Al-Hafiz, N. W., Harianja, H., Jasri, J., Elgamar, E., Nopriandi, H., Haswan, F., & Erlinda, E. (2023). Pelatihan Pengenalan Perangkat Iot Bidang Pertanian Pada Smk Negeri 3 Teluk Kuantan. *Bhakti Nagori (Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat)*, 3(2), 221–227. https://doi.org/10.36378/bhakti_nagori.v3i2.3396
- Anwar, A. H. M., Prasetyo, T. B., & Yulnafatmawita. (2024). Peranan Biochar dan Kompos dalam Meningkatkan Retensi Air dan Produksi Jagung Manis (*Zea mays L. var. saccharata*) pada Tanah Bertekstur Kasar. *Agrikultura*, 35(2), 238–249. <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v35i2.53995>
- Badan Pusat Statistik Sulawesi Tenggara. (2025). Luas panen dan produksi padi di Sulawesi Tenggara 2024. *BPS Sulawesi Tenggara*, 7. <https://sultra.bps.go.id/en/statistics-table/1/NDk4NiMx/luas-panen-dan-produksi-padi-di-sulawesi-tenggara-menurut-subround-2023-2024.html>
- Bilhuda, A. M., Riduan, A., & Junedi, H. (2024). Pengaruh Biochar Sekam Padi dan Pupuk Kandang Kotoran Ayam Terhadap Kesuburan Ultisol dan Hasil Kacang Tanah (*Arachis hypogea L.*). *Jurnal Media Pertanian*, 9(1), 29. <https://doi.org/10.33087/jagro.v9i1.228>
- Dwi, M. G., Dewi, E. P., Amalia, W., Side, G. N. D., Setiawati, D. A., Herdiana, W. D. A., & Pertama, N. C. N. (2025). Pengolahan Limbah Pertanian Dalam Mendukung Zero Waste

- di Kawasan Desa Pakuan Kecamatan Narmada Kabupaten Lombok Barat. *Jurnal Sains Teknologi dalam Pemberdayaan Masyarakat*, 6(1), 11–16. <https://doi.org/10.31599/4j6cycx61>
- Ermadani, E., Hermansah, H., Yulnafatmawita, Y., & Syarif, A. (2018). Dynamics Of Soil Organic Carbon Fractions Under Different Land Management In Wet Tropical Areas. *Jurnal Solum*, 15(1), 26–39. <https://doi.org/10.25077/jsolum.15.1.26-39.2018>
- Gadde, B., Bonnet, S., Menke, C., & Garivait, S. (2009). Air pollutant emissions from rice straw open field burning in India, Thailand and the Philippines. *Environmental Pollution*, 157(5), 1554-1558. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.01.004>
- Khan, Z., Yang, X. J., Fu, Y., Joseph, S., Khan, M. N., Khan, M. A., ..., & Shen, H. (2023). Engineered Biochar Improves Nitrogen Use Efficiency Via Stabilizing Soil Water-Stable Macroaggregates And Enhancing Nitrogen Transformation. In *Biochar*, 5(1). <https://doi.org/10.1007/s42773-023-00252-8>
- Kharisma, D., Putri, Y., Mumtazah, Z., Permata, D., Mifdatun, N., & Lailatul, J. (2023). Pemberdayaan Petani Melalui Inovasi Biochar sebagai Solusi Pengganti Pupuk Kimia di Desa Grenden Kecamatan Puger Kabupaten Jember. *Sewagati*, 7(5). <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:260915834>
- Kusmiati, A., Ibanah, I., Widjayanthi, L., Kurnianto, A. S., Wulanjari, D., Prastowo, S., & Wijayanto, Y. (2023). Pendampingan Petani untuk Mendorong Perubahan Menuju Praktek Pertanian Berkelanjutan. *Integritas: Jurnal Pengabdian*, 7(2), 501. <https://doi.org/10.36841/integritas.v7i2.3629>
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2015). *Biochar for Environmental Management* (J. Lehmann & Stephen Joseph (eds.); Second). Routledge. https://biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/11/prelim_ch1_2015biocharforenvironmentalmanagement_text.pdf
- Lestari, W., Aryunis., & Akmal. (2022). Pemberian Biochar Sekam Padi Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Padi (*Oryza Sativa L.*) Sawah Irigasi Teknis. *Jurnal Agroecotania : Publikasi Nasional Ilmu Budidaya Pertanian*, 5(1), 13–26. <https://doi.org/10.22437/agroecotania.v5i1.22824>
- Marizka, J., Aghniya, H. K., Semandhing, L. D., & Mujahidah, H. (2024). Menginterpretasikan Kebijakan Pemerintah Dalam Menghadapi Kenaikan Harga Beras. *Jurnal EK&BI*, 7(2), 534-544. <https://jurnal.murnisadar.ac.id/index.php?journal=EKBI&page=article&op=view&path%5B%5D=1688&path%5B%5D=839>
- Masulili, A., Irianti, A. T. P., Abdurrahman, T., & Suci, U. (2024). Pertumbuhan Tanaman Padi pada Dua Periode Tanam di Tanah Sulfat Masam dengan Perlakuan Biochar Sekam Padi dan Beberapa Amandemen Organik. *Agrikultura*, 35(2), 377–386. <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v35i2.55752>
- Mon, W. W., Toma, Y., & Ueno, H. (2024). Combined Effects of Rice Husk Biochar and Organic Manures on Soil Chemical Properties and Greenhouse Gas Emissions from Two Different Paddy Soils. *Soil Systems*, 8(1), 32. <https://doi.org/10.3390/soilsystems8010032>
- Nadiyya, A., Laila, L. L., Nashiroh, P. K., Mawanta, E., & Wahyu, A. T. (2022). Pemberdayaan Karang Taruna Melalui Pelatihan Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Menjadi Briket Bioarang Di Desa Gumul, Kabupaten Klaten. *Budimas : Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 4(2), 1–7. <https://doi.org/10.29040/budimas.v4i2.6649>
- Prawitasari, D. A. (2025). Potensi Limbah Hasil Pertanian Padi menjadi Sumber Bioenergi melalui Konsep Biorefineri dengan Pendekatan P-Graph dan Analisis Ekonomi Teknik di Kabupaten Sleman, Yogyakarta. *Ajie*, 9(January), 16–32. <https://doi.org/10.20885/ajie.vol9.iss1.art2>
- Sudrajat, A., Susanto, D., & Isty, G. M. N. (2025). Penerapan Ekonomi Sirkular melalui Sistem Pertanian Terpadu berbasis Zero Waste untuk Meningkatkan Ketahanan Pangan di Desa Sendangtirto, Berbah, Kabupaten Sleman Yogyakarta. *Journal of Sustainable Agriculture*

- Extension*, 3(1), 14–21. <https://doi.org/10.47687/josae.v3i1.1238>
- Suharyatun, S., Warji, W., Haryanto, A., & Anam, K. (2021). Pengaruh Kombinasi Biochar Sekam Padi dan Pupuk Organik Berbasis Mikroba Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Sayuran. *Jurnal Teknotan*, 15(1), 21. <https://doi.org/10.24198/jt.vol15n1.4>
- Susilo, E., Novita, D., Warman, I., & Parwito, P. (2021). Pemanfaatan Limbah Pertanian Untuk Membuat Pupuk Organik Di Desa Sumber Agung Kecamatan Arma Jaya Kabupaten Bengkulu Utara. *PAKDEMAS: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(1), 7–12. <https://doi.org/10.58222/pakdemas.v1i1.10>
- Uswanti, B. P., Sukartono, S., Padusung, P., & Dewi, R. A. S. (2023). Karakteristik Kimia dan Pertumbuhan Kedelai (*Glycine max* L.) Akibat Pemberian Biochar Di Tanah Vertisol Pada Kondisi Rumah Kaca Soil. *Agroteksos*, 33(3), 1105–1112. <https://doi.org/10.29303/agroteksos.v33i3.995>
- 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. https://www.researchgate.net/publication/322270183_ANALISIS_MANFAAT_BIAYA_BIOCHAR_DI_LAHAN_PERTANIAN_UNTUK_MENINGKATKAN_PENDAPATAN_PETANI_DI_KABUPATEN_MERAUKE
- Zhao, X., Liu, S. L., Pu, C., Zhang, X. Q., Xue, J. F., Zhang, R., ..., & Chen, F. (2016). Methane and nitrous oxide emissions under no-till farming in China: A meta-analysis. *Global Change Biology*, 22(4), 1372-1384. <https://doi.org/10.1111/gcb.13185>