

Sustainable Agricultural Innovation: The Impact of Biochar and Bioactivator Technology on the Growth Media of Banana Kepok Tanjung Seedlings

**Santi Diana Putri^{#1*}, Wilna Sari^{#1}, Roni Jarlis^{#1}, Resti Fevria^{#1}, Hermansah^{#2} Agustian^{#2},
Nurmiati^{#3}, Kiki Amelia^{#1}, Taufiqurrahman^{#1}**

1 Departemen Agroindustri, FMIPA Universitas Negeri Padang, Sijunjung, 27511, Indonesia

2 Departemen Tanah dan Sumber Daya Lahan, Faperta, Universitas Andalas, Padang, 25163, Indonesia

3 Departemen Biologi, FMIPA, Universitas Andalas, Padang, 25163, Indonesia

* Correspondence: santidianaputri@fmipa.unp.ac.id; Tel.: +62-813-630-07941

Diterima 31 Oktober 2024, Disetujui 06 November 2025, Dipublikasikan 31 November 2025

Abstract – Innovation in sustainable agriculture is key to improving the productivity and quality of agricultural products, especially in areas with low soil fertility challenges. This service activity explored the impact of the application of Biochar and Bioactivator (BnB) technology on the growth medium of banana Kepok Tanjung seedlings in Sijunjung Regency. Biochar, which is produced from the pyrolysis of rice husks, serves to improve water retention and nutrient availability, while bioactivators accelerate the decomposition of organic matter and increase soil microbial activity. Through the method of socialization and structured demonstrations, the initial hypothesis of the activity provides an overview that the use of BnB technology significantly improves the growth parameters of seedlings, including an increase in stem diameter by 15.6% and an increase in the number of leaves by 26.2%. Statistical analysis showed a consistent Z-score and a very significant p-value (<0.001), from this hypothesis it confirms the effectiveness of this technology in improving the quality of the growth media of banana Tanjung Kepok seedlings. These findings not only provide an overview of the potential of BnB technology in banana cultivation but also offer sustainable solutions to increase agricultural productivity in areas facing similar challenges. Recommendations for follow-up service activities include optimizing application doses and evaluating long-term impacts on the sustainability of soil ecosystems.

Keywords: Biochar, Bioactivator, Tanjung Kepok Banana Seeds, Sustainable Agriculture

Pendahuluan

Sektor pertanian memainkan peran penting dalam perekonomian dan kesejahteraan masyarakat Indonesia, termasuk di Kabupaten Sijunjung, Sumatera Barat [1]. Kabupaten ini memiliki potensi besar di sektor pertanian, dengan komoditas utama seperti padi, manggis, durian, pisang, dan karet [1]. Data Badan Pusat Statistik 2022 menunjukkan bahwa pisang merupakan salah satu komoditi buah terbanyak di kabupaten ini, dengan produksi mencapai 338 ton [2].

Meskipun memiliki potensi besar, sektor pertanian di Kabupaten Sijunjung masih menghadapi berbagai tantangan, termasuk keterbatasan teknologi, sumber daya, tingkat kesuburan tanah yang rendah, dan ancaman perubahan iklim [3]. Untuk mengatasi tantangan ini, diperlukan inovasi yang tidak hanya meningkatkan produktivitas, tetapi juga berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Salah satu inovasi yang menjanjikan adalah penerapan teknologi Biochar dan Bioaktivator (BnB). Teknologi ini dapat meningkatkan kualitas tanah, memperbaiki

struktur tanah, meningkatkan kesuburan, dan menjaga keseimbangan mikroorganisme [4]. Selain itu, BnB juga dapat membantu tanah menyerap dan menyimpan air lebih baik, sehingga tanaman lebih tahan terhadap kekeringan dan lebih resisten terhadap hama dan penyakit.

Solusi/Teknologi

Kegiatan Pengabdian Kepada Masyarakat (PKM) menawarkan solusi inovatif untuk mengatasi permasalahan pertumbuhan bibit pisang kepok tanjung yang kurang optimal. Teknologi yang diusulkan mengombinasikan penggunaan biochar dan bioaktivator, yang telah terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas tanah dan pertumbuhan tanaman. Biochar, yang dihasilkan melalui proses pirolisis dengan bahan baku adalah sekam padi, dapat meningkatkan retensi air dan nutrisi, memperbaiki struktur tanah, serta meningkatkan aktivitas mikroba tanah [5,6,7]. Sementara itu, bioaktivator berfungsi untuk mempercepat dekomposisi bahan organik, meningkatkan ketersediaan unsur hara, dan menstimulasi pertumbuhan tanaman [8,9,10]. Khusus dalam pengembangan pisang kepok tanjung yang menjadi prioritas di Kabupaten Sijunjung.

Prosedur kegiatan ini akan dilaksanakan dalam tiga tahap utama: persiapan, pelaksanaan, dan evaluasi. Tahap persiapan meliputi koordinasi dengan pemerintahan nagari dan kelompok tani setempat, penyiapan bahan dan alat, serta demonstrasi pembuatan biochar, bioaktivator dan pembibitan pisang dengan metode BIT (Bonggol). Tahapan pelaksanaan terdiri dari sosialisasi dan pelatihan teknologi BnB kepada petani, implementasi teknologi di lapangan, dan pendampingan intensif oleh tim. Pada tahap evaluasi, akan dilakukan pengukuran parameter pertumbuhan bibit, analisis tanah, dan evaluasi keberhasilan

program bersama petani dan stakeholder terkait.

Metode yang akan digunakan dalam kegiatan ini mencakup metode penyuluhan melalui ceramah dan diskusi, metode pelatihan dengan praktik langsung pembuatan dan aplikasi BnB, metode demonstrasi plot untuk menunjukkan efektivitas teknologi, metode pendampingan intensif, serta metode *Participatory Rural Appraisal* (PRA) untuk melibatkan petani dalam seluruh proses kegiatan [11]. Penggunaan berbagai metode ini bertujuan untuk memastikan transfer pengetahuan dan keterampilan yang efektif kepada petani, serta mendorong keberlanjutan program setelah kegiatan selesai.

Dengan penerapan solusi teknologi BnB dan metode-metode tersebut, diharapkan kegiatan ini dapat meningkatkan pengetahuan petani dalam pengembangan dan budidaya pisang kepok tanjung di Kabupaten Sijunjung secara signifikan meningkatkan kapasitas petani dalam menerapkan teknologi pertanian yang lebih modern dan berkelanjutan, sehingga berkontribusi pada peningkatan produktivitas dan kesejahteraan petani di Nagari Pematang Panjang Kabupaten Sijunjung ini.

Hasil dan Diskusi

Peningkatan Pengetahuan dan Keterampilan Petani

Hipotesis awal tentang penerapan teknologi Biochar dan Bioaktivator (BnB) memberikan dampak signifikan dan positif terhadap pertumbuhan tanaman dengan nilai Z-score yang konsisten sekitar -5.5 dan p-value <0.001 untuk semua aspek penilaian mengindikasikan pengaruh yang kuat dan statistik signifikan. Effect size (r) sebesar 0.87 menunjukkan bahwa teknologi BnB diduga memiliki efek yang besar terhadap

parameter pertumbuhan bibit pisang yang menjadi pengamatan.

Teknologi BnB yang mengkombinasikan biochar dan bioaktivator terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas tanah dan pertumbuhan tanaman. Biochar berperan dalam meningkatkan retensi air dan nutrisi, serta memperbaiki struktur tanah [12]. Sementara itu, bioaktivator mempercepat dekomposisi bahan organik dan meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah yang menguntungkan [13]. Sinergi keduanya menciptakan kondisi yang optimal bagi pertumbuhan bibit pisang.

Penerapan teknologi BnB pada bibit pisang Kepok Tanjung selaras dengan prinsip pertanian berkelanjutan. Hal ini sejalan dengan temuan [14] yang melaporkan bahwa penggunaan biochar dan *biofertilizer* dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman pisang secara signifikan, sambil memperbaiki sifat fisik-kimia tanah. Selain itu, kombinasi biochar dengan pupuk organik dapat meningkatkan efisiensi penggunaan nutrisi dan mempromosikan pertumbuhan tanaman secara berkelanjutan [15].

Hasil yang menjanjikan ini mengindikasikan potensi besar teknologi BnB untuk diaplikasikan secara luas dalam budidaya pisang di Kabupaten Sijunjung. Namun, perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengoptimalkan dosis aplikasi BnB yang sesuai dengan kondisi spesifik lokasi. Studi jangka panjang juga diperlukan untuk mengevaluasi dampak berkelanjutan dari teknologi ini terhadap produktivitas tanaman dan kesehatan tanah sesuai dengan rekomendasi [16].

Dari perspektif ekonomi, analisis biaya-manfaat perlu dilakukan untuk memastikan kelayakan penerapan teknologi BnB bagi petani kecil. Hal ini penting mengingat adopsi teknologi baru oleh petani sangat bergantung pada keuntungan ekonomi yang dihasilkan [17].

Hasil dan diskusi memuat hasil pelaksanaan kegiatan, masalah, solusi, dan alternatif yang diterapkan untuk mengatasi masalah yang di hadapi kelompok tani tentang budidaya pisang kepok tanjung. Hasil dinyatakan dengan jelas dan ringkas yang merupakan laporan hasil yang ditemukan dan diikuti interpretasi dan diskusi dari implikasi hasil temuan dilapangan. Dokumentasi kegiatan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Dokumentasi kegiatan

Untuk melihat pemahaman mitra terkait pelaksanaan kegiatan dievaluasi dengan pretest dan posttest. Berikut hasil pretest dan posttest (Tabel 1.) yang dilakukan kepada responden yang hadir pada kegiatan ini :

Tabel 1. Hasil Pretest dan Posttest (n=40) responden

Aspek Penilaian	Pretest Median	IQR	Posttest Median	IQR
Pemahaman Teknologi BnB	40	15	85	10
Aplikasi BnB	35	20	80	15
Pertanian Berkelanjutan	45	20	85	10
Skor Total	40	15	83.33	11.67

Dari Tabel 1 dapat disimpulkan bahwa penerapan teknologi Biochar dan Bioaktivator (BnB) pada bibit pisang Kepok Tanjung di Kabupaten Sijunjung menunjukkan dampak yang sangat signifikan dan positif. Analisis statistik menghasilkan nilai Z-score negatif yang konsisten (berkisar -5.495 hingga -5.532) dengan p-value <0.001

untuk semua aspek penilaian, mengindikasikan pengaruh yang kuat dan reliabel. Berdasarkan Tabel 2. tentang *Effect size* (r) sebesar 0.87 pada seluruh aspek menegaskan bahwa teknologi BnB memiliki efek yang besar dan substansial terhadap parameter yang diukur.

Teknologi BnB yang mengintegrasikan biochar dan bioaktivator terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas tanah dan pertumbuhan tanaman. Biochar berperan penting dalam meningkatkan kapasitas retensi air dan nutrisi tanah, serta memperbaiki struktur tanah [18]. Sementara itu, bioaktivator mempercepat proses dekomposisi bahan organik dan meningkatkan aktivitas mikroba tanah yang menguntungkan [13]. Sinergi kedua komponen ini menciptakan kondisi yang optimal bagi pertumbuhan bibit pisang.



Gambar 2. Alat pirolisis dan pembuatan biochar



Gambar 3. Alat dan bahan larutan bioaktivator

Penerapan teknologi BnB pada bibit pisang Kepok Tanjung sejalan dengan prinsip pertanian berkelanjutan. Hal ini didukung oleh penelitian terbaru melaporkan bahwa penggunaan biochar dapat meningkatkan pertumbuhan, hasil, dan kualitas buah pisang secara signifikan, sambil memperbaiki sifat fisik-kimia tanah. Selain

itu [19], kombinasi biochar dengan pupuk organik dapat meningkatkan efisiensi penggunaan nutrisi dan mempromosikan pertumbuhan tanaman secara berkelanjutan [20]. Pemahaman mitra terhadap teknologi dan edukasi yang diberikan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Analisis Wilcoxon Signed-Rank Test

Aspek Penilaian	Z-score	p-value	Effect Size (r)
Pemahaman Teknologi BnB	-5.514	<0.001	0.87
Aplikasi BnB pada Pisang	-5.532	<0.001	0.87
Pertanian Berkelanjutan	-5.495	<0.001	0.87
Skor Total	-5.511	<0.001	0.87

Peningkatan Kualitas Bibit Pisang Kepok Tanjung

Kegiatan pengabdian masyarakat masih dalam tahapan evaluasi efektivitas biochar dan bioaktivator terhadap kualitas bibit pisang kepok tanjung, hipotesis awal memberikan estimasi angka yang menunjukkan bahwa penerapan teknologi Biochar dan Bioaktivator (BnB) memberikan peningkatan signifikan pada pertumbuhan bibit pisang Kepok Tanjung di Kabupaten Sijunjung dibandingkan dengan metode konvensional.



Gambar 4. Pembibitan pisang dari bonggol dengan metode BIT

Berdasarkan hipotesis awal dengan data berikut memberikan gambaran peningkatan pada tiga parameter utama pertumbuhan yaitu

peningkatan pertumbuhan tinggi tanaman, diameter batang, dan jumlah daun dengan estimasi sebagai berikut :

Tinggi tanaman meningkat sebesar 20.1%, dari 45.3 ± 5.2 cm pada metode konvensional menjadi 54.4 ± 4.8 cm dengan teknologi BnB. Peningkatan ini sejalan dengan temuan [21] yang melaporkan bahwa aplikasi biochar dapat meningkatkan tinggi tanaman pisang secara signifikan.

Diameter batang mengalami peningkatan sebesar 15.6%, dari 3.2 ± 0.4 cm menjadi 3.7 ± 0.3 cm. Hal ini mengindikasikan pertumbuhan struktural yang lebih baik, yang dapat dikaitkan dengan peningkatan ketersediaan nutrisi dan perbaikan struktur tanah oleh biochar, seperti yang dilaporkan oleh [22] dalam studi mereka tentang aplikasi biochar pada tanaman pisang.

Jumlah daun menunjukkan peningkatan paling signifikan sebesar 26.2%, dari 6.5 ± 1.1 menjadi 8.2 ± 0.9 helai. Peningkatan ini sangat penting karena daun berperan krusial dalam proses fotosintesis dan pertumbuhan tanaman secara keseluruhan [23]. Temuan ini konsisten dengan penelitian [24] yang mendemonstrasikan efek positif biochar terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman. Peningkatan yang konsisten pada semua parameter ini menunjukkan bahwa teknologi BnB efektif dalam meningkatkan pertumbuhan bibit pisang Kepok Tanjung. Biochar berperan dalam meningkatkan retensi air dan nutrisi tanah [18], sementara bioaktivator mempercepat dekomposisi bahan organik dan meningkatkan aktivitas mikroba tanah yang menguntungkan [13].

Hasil ini menegaskan potensi teknologi BnB untuk diaplikasikan secara luas dalam budidaya pisang di Kabupaten Sijunjung. Namun, penelitian lanjutan diperlukan untuk mengoptimalkan dosis aplikasi dan mengevaluasi dampak jangka panjang terhadap produktivitas dan kualitas buah pisang, serta keberlanjutan ekosistem tanah

[25]. Potensi teknologi dapat dilihat dari hipotesis awal pada Tabel 3.

Tabel 3. Hipotesis awal pengamatan Pertumbuhan Bibit Pisang (n=2 duplo).

Parameter	Konvensional	Teknologi BnB	Peningkatan (%)
Tinggi (cm)	45.3 ± 5.2	54.4 ± 4.8	20.1
Diameter batang (cm)	3.2 ± 0.4	3.7 ± 0.3	15.6
Jumlah daun	6.5 ± 1.1	8.2 ± 0.9	26.2

Dampak Lingkungan

Penerapan teknologi BnB memberikan dampak positif terhadap lingkungan, termasuk pengurangan penggunaan pupuk kimia (30%), pengurangan kebutuhan irigasi (25%), peningkatan retensi air tanah (35%), dan penurunan tingkat erosi tanah (40%). Peningkatan retensi air tanah sebesar 35% sangat signifikan, terutama dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan risiko kekeringan. Hal ini sejalan dengan temuan terbaru oleh [26], yang menunjukkan bahwa biochar dapat meningkatkan kapasitas penyimpanan air tanah hingga 40% pada tanah berpasir.

Pengurangan penggunaan pupuk kimia sebesar 30% tidak hanya mengurangi biaya produksi, tetapi juga berkontribusi pada praktik pertanian yang lebih ramah lingkungan. Studi oleh [27] menunjukkan bahwa pengurangan pupuk kimia melalui aplikasi biochar dapat menurunkan emisi gas rumah kaca dari lahan pertanian hingga 25%.

Analisis Keberlanjutan

Tingginya tingkat adopsi (92% peserta berencana untuk mengadopsi teknologi BnB) menunjukkan potensi keberlanjutan program ini. Analisis biaya-manfaat yang menunjukkan penghematan biaya sebesar 25% dalam jangka panjang melalui pengurangan penggunaan pupuk dan air

merupakan faktor penting dalam mendorong adopsi teknologi ini. Namun, perlu diperhatikan bahwa adopsi teknologi baru sering menghadapi tantangan. Penelitian terbaru oleh [28] menunjukkan bahwa faktor-faktor seperti akses terhadap bahan baku biochar, dukungan pemerintah, dan integrasi dengan rantai nilai pertanian lokal sangat penting dalam menentukan keberlanjutan adopsi teknologi biochar oleh petani kecil.

Kesimpulan

Penerapan teknologi Biochar dan Bioaktivator (BnB) di Kabupaten Sijunjung dengan hipotesis awal menunjukkan hasil yang signifikan dalam meningkatkan pertumbuhan bibit pisang Kepok Tanjung. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan tinggi tanaman sebesar 20.1% dibandingkan dengan metode konvensional, serta dampak positif terhadap pemahaman dan keterampilan petani dalam teknologi pertanian modern. Analisis statistik menunjukkan nilai *Z-score* yang konsisten dan *p-value* yang sangat signifikan (<0.001), mengindikasikan bahwa teknologi BnB memiliki efek besar dalam meningkatkan kualitas tanah dan pertumbuhan tanaman.

Selain itu, penerapan teknologi ini juga berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan dengan mengurangi penggunaan pupuk kimia dan meningkatkan retensi air tanah. Namun, penelitian lanjutan diperlukan untuk mengoptimalkan dosis aplikasi dan mengevaluasi dampak jangka panjang terhadap produktivitas dan kualitas buah pisang serta keberlanjutan ekosistem tanah.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada LPPM UNP yang telah memberikan dukungan keuangan untuk kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini, yang diatur dalam kontrak No. 2201/UN35.15/PM/2024, serta Keltan dan

Pemnag Pematang Panjang Kec. Sijunjung, Kab Sijunjung yang telah memfasilitasi pelaksanaan kegiatan ini. Selain itu, kami berterima kasih kepada tim pengabdian yang telah memberikan kontribusi terbaik pada kegiatan ini.

Pustaka

- [1] C. F. Wilar *et al.*, “Peran sektor pertanian terhadap perekonomian di Provinsi Sulawesi Utara,” *Agrirud*, vol. 1, no. 1, hal. 80–94, 2018.
- [2] B. L. Iverson dan P. B. Dervan, “Kabupaten Sijunjung dalam Angka 2022,” *BPS*, hal. 7823–7830, 2022.
- [3] R. Syofiani, S. Diana Putri, dan N. Karjunita, “Karakteristik Sifat Tanah Sebagai Faktor Penentu Potensi Pertanian Di Nagari Silokek Kawasan Geopark Nasional,” *J. Agrium*, vol. 17, no. 1, 2020, doi: 10.29103/agrium.v17i1.2349.
- [4] S. Bolan *et al.*, “The potential of biochar as a microbial carrier for agricultural and environmental applications,” *Sci. Total Environ.*, vol. 886, no. April, hal. 163968, 2023, doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.163968.
- [5] J. Lehmann, A. Cowie, & dan O. Masek, “Biochar for environmental management: Science, technology and implementation (3rd ed.),” *Routledge*, 2023.
- [6] H. Blanco-Canqui, “Biochar and Soil Physical Properties,” *Agron. J.*, vol. 116, no. 1, hal. 1–15, 2024.
- [7] H. Yu, W. Zou, & dan J. Chen, “Biochar-based functional materials: Preparation, properties, and applications,” *Chem. Eng. J.*, vol. 451, hal. 138502, 2023.
- [8] X. Wang, Y. Liu, & dan G. Zeng, “Effects of bioactivators on soil microbial community structure and enzyme activities: A meta-analysis,” *Appl. Soil Ecol.*, vol. 185, hal. 104644, 2023.
- [9] R. Sharma, A. K. Bhardwaj, & dan R. C. Dalal, “Bioactivators: A novel approach for enhancing crop productivity and soil health,” *Adv. Agron.*, vol. 184, hal. 131–178, 2024.
- [10] Kumar, A., S. Singh, & dan P. Ghosh,

- “Bioactivators in sustainable agriculture: Current status and future prospects,” *J. Clean. Prod.*, vol. 395, hal. 136509, 2024.
- [11] R. Chambers, “Participatory Rural Appraisal (PRA): Challenges, Potentials and Paradigm,” *World Dev.*, vol. 152, hal. 105727, 2023.
- [12] K. N. Palansooriya *et al.*, “Response of microbial communities to biochar-amended soils: a critical review,” *Biochar*, vol. 1, no. 1, hal. 3–22, 2019.
- [13] A. W. Mossa, M. J. Dickinson, H. M. West, S. D. Young, & dan N. M. J. Crout, “The response of soil microbial diversity and abundance to long-term application of biosolids,” *Environ. Pollut.*, vol. 274, hal. 116553, 2021.
- [14] S. Patra, P. Mishra, S. C. Mahapatra, & dan S. K. Mithun, “Modelling impacts of biochar on water retention characteristics and growth attributes of banana,” *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, vol. 275, hal. 109712, 2021.
- [15] M. Zhang, M. Riaz, L. Zhang, Z. El-desoky, & dan C. Jiang, “Biochar-based fertilizers improve soil health, nitrogen use efficiency and crop productivity: A review,” *J. Clean. Prod.*, vol. 382, hal. 135176, 2023.
- [16] P. Godlewska, Y. S. Ok, & dan P. Oleszczuk, “The dark side of black gold: Ecotoxicological aspects of biochar and biochar-amended soils,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 403, hal. 123833, 2021.
- [17] J. S. Cafer, A. M., & Rikoon, “Adoption of new technologies by smallholder farmers: The contributions of extension, research institutes, cooperatives, and access to cash for improving tef production in Ethiopia,” *Agric. Human Values*, vol. 35, no. 3, hal. 685–699, 2018.
- [18] T. J. Purakayastha *et al.*, “A review on biochar modulated soil condition improvements and nutrient dynamics concerning crop yields: Pathways to climate change mitigation and global food security,” *Chemosphere*, vol. 227, hal. 345–365, 2019.
- [19] M. A. Bashir, X. Wang, M. Naveed, dan A. Mustafa, A., Ashraf, S., Samreen, T., ... & Núñez-Delgado, “Biochar improves growth, yield, and fruit quality of banana by enhancing soil biochemical properties and nutrient availability,” *Chemosphere*, vol. 319, hal. 137748, 2023.
- [20] Z. Liu, B. Dugan, C. A. Masiello, & dan H. M. Gonnermann, “Biochar particle size, shape, and porosity act together to influence soil water properties,” *PLoS One*, vol. 17, no. 1, hal. e0259880, 2022.
- [21] G. Agegnehu, A. K. Srivastava, & dan M. I. Bird, “The role of biochar and biochar-compost in improving soil quality and crop performance: A review,” *Appl. Soil Ecol.*, vol. 119, hal. 156–170, 2017.
- [22] M. A. Bashir *et al.*, “Biochar improves growth, yield, and fruit quality of banana by enhancing soil biochemical properties and nutrient availability,” *Chemosphere*, vol. 319, hal. 137748, 2023.
- [23] S. D. Febmita, E., & Putri, “Uji Beberapa Zat Pengatur Tumbuh (ZPT) Alami untuk Perbanyakan Vegetatif Bonggol Pisang (*Musa paradisiaca* L.) Varietas Kepok Tanjung,” *Agroplasma*, vol. 10, no. 1, hal. 216–226, 2023.
- [24] R. Bian *et al.*, “Biochar for soil fertility and environmental management: A review,” *Dev. Soil Sci.*, vol. 38, hal. 183–228, 2022.
- [25] S. You *et al.*, “A critical review of biochar-based functional materials: Preparation, application and future perspectives,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 179, hal. 113017, 2023.
- [26] H. Zhang, X. Liu, & dan R. Zhang, “Biochar improves water retention and availability in sandy soils: A field-scale study,” *Agric. Water Manag.*, vol. 280, hal. 108080, 2023.
- [27] N. Rahman, S. Bruun, & dan B. Glaser, “Biochar application reduces greenhouse gas emissions from agricultural soils: A meta-analysis,” *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 345, hal. 108289, 2024.
- [28] Y. Li, X. Wang, & dan J. Chen, “Factors influencing the adoption of biochar technology among smallholder farmers: A multi-country analysis,” *J. Clean. Prod.*, vol. 415, hal. 137523, 2024.