

## Optimization of Biochar Application for Improving Soil Water Holding Capacity

Muhamad Fajar Sidiq<sup>1</sup>, Reza Widyasaputra<sup>2</sup>, Galang Indra Jaya<sup>1\*</sup>, Mohammad Prasanto Bimantio<sup>2</sup>, Amir Noviyanto<sup>1</sup>, Moh Galih Purnama Jati<sup>1</sup>, Bintang Wahyu Prasetyo<sup>2</sup>, Arief Almuqhor Eka Nugraha<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Agrotechnology, Institut Pertanian Stiper, Yogyakarta, Indonesia;

<sup>2</sup>Department of Agricultural Product Technology, Institut Pertanian Stiper, Yogyakarta, Indonesia;

### Article History

Received : February 14<sup>th</sup>, 2026

Revised : February 23<sup>th</sup>, 2026

Accepted : March 25<sup>th</sup>, 2026

\*Corresponding Author:

**Galang Indra Jaya,**

Department of

Agrotechnology, Institut

Pertanian Stiper, Yogyakarta,

Indonesia;

Email:

[galang@instiperjogja.ac.id](mailto:galang@instiperjogja.ac.id)

**Abstract:** Water scarcity limits soil productivity, but applying biochar can effectively enhance soil water retention in vulnerable areas. This study evaluated the effects of biochar types and application rates on the maximum moisture content of sandy soils in Gunungkidul, Indonesia. A completely randomized design was used to test rice husk and blotong biochar, alongside raw rice husk and a control, at varying application rates. Maximum soil moisture capacity was experimentally measured to determine treatment efficacy. Results indicated that biochar application significantly influenced soil moisture retention. Among the treatments, a lower application rate of rice husk biochar provided the most substantial improvement in water holding capacity compared to the control. Conversely, higher rates of biochar or the use of raw materials were less effective and, in some cases, reduced water retention. Conclusively, optimizing both the biochar feedstock and its application rate is critical; specific low-dose biochar applications can optimally enhance soil moisture retention, offering a practical strategy for sustainable agricultural management in semi-arid regions.

**Keywords:** Filter cake, rice husk, soil physical properties, water holding capacity.

### Pendahuluan

Ketersediaan air merupakan salah satu faktor pembatas utama dalam produktivitas pertanian, terutama pada lahan marginal seperti tanah berpasir, tanah terdegradasi, dan tanah dengan kedalaman solum yang dangkal (Naorem *et al.*, 2023). Kondisi tersebut banyak dijumpai di wilayah tropis, termasuk Indonesia, yang menghadapi tantangan degradasi lahan akibat perubahan iklim, intensifikasi pertanian, serta penurunan bahan organik tanah. Rendahnya kapasitas menahan air tanah berdampak langsung terhadap efisiensi penggunaan air, penyerapan hara, serta pertumbuhan dan hasil tanaman.

Biochar merupakan material kaya karbon yang dihasilkan melalui proses pirolisis biomassa pada kondisi terbatas oksigen (Zhang

*et al.*, 2026). Dalam beberapa dekade terakhir, biochar banyak diteliti sebagai amelioran tanah karena kemampuannya dalam memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologis tanah. Salah satu karakteristik penting biochar adalah struktur porinya yang berkembang, luas permukaan yang tinggi, serta stabilitas karbon yang relatif tinggi, sehingga berpotensi meningkatkan kapasitas menahan air (*Water Holding Capacity/WHC*) tanah (Adhikari *et al.*, 2023).

Aplikasi biochar mampu meningkatkan porositas tanah, menurunkan *bulk density*, serta memperbaiki agregasi tanah (Islam *et al.*, 2021). Struktur mikropori dan mesopori pada biochar memungkinkan terjadinya retensi air lebih besar dibandingkan tanah tanpa perlakuan, sehingga air tersedia lebih lama bagi tanaman (Li *et al.*, 2021). Biochar juga berperan dalam meningkatkan efisiensi

penggunaan air (*water use efficiency*) dan mengurangi risiko kekeringan pada sistem pertanian (Zhang *et al.*, 2020).

Meskipun manfaat biochar telah banyak dilaporkan, efektivitasnya sangat fluktuatif dan bergantung pada jenis bahan baku (*feedstock*), suhu pirolisis, dosis aplikasi, serta karakteristik tanah lokal (Wijitkosum, 2022). Mayoritas studi terdahulu mengevaluasi biochar dalam konteks makro, sehingga menyisakan celah pengetahuan terkait respons spesifik tanah marginal terhadap biochar dari limbah agrikultur lokal. Oleh karena itu, kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada determinasi kuantitatif terhadap interaksi antara jenis bahan baku biochar lokal (seperti sekam padi dan blotong) dan rasio dosis aplikasinya dalam mencapai titik optimum WHC pada tanah berpasir, sebuah pendekatan spesifik yang belum banyak dieksplorasi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kapasitas menahan air tanah setelah aplikasi biochar, serta mengevaluasi potensi biochar sebagai bahan amelioran dalam meningkatkan ketersediaan air tanah. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah dalam pemanfaatan biochar sebagai teknologi adaptasi terhadap keterbatasan air dan degradasi lahan pada sistem pertanian berkelanjutan.

## Bahan dan Metode

### Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Desa Sumbergiri, Kecamatan Ponjong, Gunungkidul, pada periode November - Desember 2025. Lokasi penelitian berada di daerah semi-kering dengan tipe tanah cenderung lempung dan terbentuk di atas formasi kapur. Kondisi ini mewakili tantangan pertanian di wilayah kering tropis, sehingga relevan untuk evaluasi biochar sebagai amelioran tanah. Analisa tanah dilakukan di laboratorium Instiper Yogyakarta.

### Alat dan bahan

Bahan penelitian ini meliputi tanah hasil perlakuan aplikasi biochar serta air suling (akuades). Alat yang digunakan antara lain ring sampel tanah (volume diketahui), timbangan

analitik, oven pengering, desikator, baskom perendaman, dan alat tulis.

### Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Pemilihan RAL didasarkan pada asumsi bahwa kondisi lingkungan percobaan bersifat homogen. Terdapat enam perlakuan dan tiga ulangan untuk mengevaluasi pengaruh jenis dan dosis biochar terhadap kadar lengas maksimum tanah. Perlakuan tersebut adalah: (1) biochar blotong 5%, (2) biochar blotong 10%, (3) biochar sekam padi 5%, (4) biochar sekam padi 10%, (5) sekam mentah 5%, dan (6) kontrol tanpa bahan tambahan. Dosis biochar didasarkan pada berat volume tanah, aplikasi biochar dilakukan dengan mencampurkan tanah dengan biochar sedalam 20 cm dan diaduk sampai homogen dengan tanah. Setiap perlakuan diulang tiga kali, dan setiap ulangan diambil sampel utuh dengan ring sampel tanah.

### Pengambilan dan Persiapan Sampel

Sampel tanah dimasukkan ke dalam ring sampel dengan volume sesuai ring secara hati-hati untuk mempertahankan struktur tanah alami. Permukaan tanah diratakan tanpa pemadatan berlebihan. Setiap perlakuan disiapkan dalam beberapa ulangan sesuai rancangan percobaan.

### Penentuan Kadar Lengas Maksimum

Penentuan kadar lengas maksimum dilakukan menggunakan metode penjuanan. Ring sampel yang telah berisi tanah direndam dalam air hingga seluruh permukaan tanah tergenang. Proses perendaman dilakukan selama  $\pm 12$  jam untuk memastikan seluruh pori tanah terisi air secara optimal. Setelah proses penjuanan, ring sampel diangkat dan dibiarkan hingga tidak terjadi lagi aliran air bebas dari bagian bawah ring. Selanjutnya, ring sampel ditimbang untuk memperoleh bobot basah jenuh ( $W_j$ ). Ring sampel kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu  $105^\circ\text{C}$  selama 24 jam hingga mencapai bobot konstan. Setelah pengeringan, sampel didinginkan dalam desikator dan ditimbang untuk memperoleh bobot kering oven ( $W_k$ ).

Kadar lengas maksimum (KLM) dihitung berdasarkan persamaan 1.

$$KLM (\%) = \frac{W_j - W_k}{W_k} \times 100 \quad (1)$$

di mana:

KLM = kadar lengas maksimum (%),

W<sub>j</sub> = berat tanah jenuh air (g),

W<sub>k</sub> = berat tanah kering oven (g).

Nilai kadar lengas maksimum digunakan sebagai indikator kapasitas menahan air tanah pada masing-masing perlakuan biochar.

### Analisa Data

Data kadar lengas maksimum tanah dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) satu arah pada taraf kepercayaan 95%. Sebelum analisis, dilakukan uji normalitas dan homogenitas ragam untuk memastikan terpenuhinya asumsi ANOVA. Apabila hasil analisis menunjukkan perbedaan nyata ( $p < 0,05$ ), maka dilanjutkan dengan uji Tukey HSD. Seluruh data dianalisa dilakukan menggunakan Python versi 3.9 dengan pustaka Pandas (v1.x) untuk transformasi data, Seaborn (v0.12.x) dan Matplotlib (v3.x) untuk visualisasi. Data diubah ke format *long* sebelum divisualisasikan dalam bentuk boxplot.

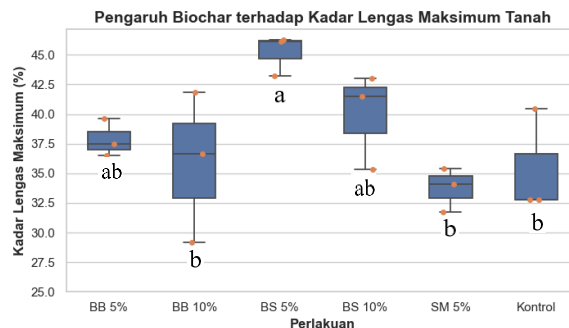
### Hasil dan Pembahasan

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa perlakuan biochar memberikan pengaruh yang berbeda terhadap kadar lengas maksimum tanah.

#### Pengaruh Biochar terhadap Kadar Lengas Maksimum

Perlakuan biochar sekam padi dosis 5% menghasilkan nilai rata-rata tertinggi sebesar 45,216% dan berada pada kelompok notasi a, yang berarti berbeda nyata dibandingkan perlakuan dengan notasi b. Berdasarkan Gambar 1, perlakuan BS 5% memiliki median kadar lengas maksimum tertinggi, menunjukkan efektivitas paling baik dalam meningkatkan kapasitas tanah menahan air. Rentang interkuartilnya sempit, menandakan hasil konsisten antar ulangan. Perlakuan BS 10% dan BB 5% memiliki median agak lebih rendah, termasuk dalam kelompok notasi ab, sehingga tidak berbeda nyata dengan BS 5% maupun perlakuan lain yang lebih rendah. Sementara BB 10%, SM 5%, dan kontrol termasuk kelompok notasi b, dengan efektivitas lebih rendah. Secara keseluruhan, BS 5% adalah perlakuan paling

optimal, baik dari nilai median maupun kestabilan sebaran data.



**Gambar 1.** Pengaruh Biochar terhadap kadar lengas maksimum tanah

#### Efektivitas Dosis dan Jenis Biochar

Berdasarkan analisis efektivitas terhadap kontrol, biochar sekam padi 5% menunjukkan peningkatan kapasitas menahan air tertinggi, yaitu sebesar 28,0%. Perlakuan biochar sekam 10% meningkatkan kadar lengas maksimum sebesar 13,0%, sedangkan biochar blotong 5% hanya meningkatkan sebesar 7,1%. Perlakuan biochar blotong 10% memberikan peningkatan yang sangat kecil, yaitu 1,6%, dan secara praktis hampir setara dengan kontrol. Sebaliknya, perlakuan sekam mentah 5% justru menurunkan kapasitas menahan air sebesar 4,5% dibandingkan kontrol, yang menunjukkan bahwa bahan organik segar tanpa proses pirolisis belum efektif dalam meningkatkan retensi air tanah.

**Tabel 1.** Efektivitas Biochar

Perlakuan	Rerata	Efektivitas vs Kontrol
Biochar Sekam 5%	45.22	28.00%
Biochar Sekam 10%	39.94	13.00%
Biochar Blotong 5%	37.86	7.10%
Biochar Blotong 10%	35.89	1.60%
Kontrol	35.33	-
Sekam Mentah 5%	33.74	-4.50%

#### Pembahasan

Aplikasi biochar memberikan pengaruh nyata terhadap kadar lengas maksimum tanah, parameter ini merupakan salah satu indikator utama kualitas fisik tanah. Hasil penelitian pada Tabel 1 menunjukkan bahwa perlakuan biochar sekam padi dosis 5% menghasilkan nilai kadar lengas maksimum tertinggi sebesar 45,22% dan berbeda nyata dibandingkan biochar blotong 5 &

10%, kontrol serta sekam mentah 5% berdasarkan uji BNT 5%. Pada Tabel 1. perlakuan ini meningkatkan kapasitas menahan air tanah sebesar 28,0% dibandingkan kontrol (35,33%), yang menunjukkan perbaikan substansial dalam kemampuan tanah menyimpan air.

Tingginya kadar lengas maksimum pada biochar sekam padi 5% berkaitan erat dengan karakteristik struktur pori biochar yang didominasi oleh mikropori dan mesopori. Struktur pori tersebut berfungsi sebagai ruang retensi air yang efektif melalui mekanisme kapilaritas, sehingga air dapat tersimpan lebih lama di dalam tanah (Sun & Lu, 2014). Selain itu, biochar sekam padi umumnya memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi serta kandungan silika yang relatif besar, yang berkontribusi terhadap stabilitas struktur tanah dan peningkatan kemampuan adsorpsi air (Li *et al.*, 2023).

Perlakuan biochar sekam padi 10% menghasilkan kadar lengas maksimum sebesar 39,937% dengan efektivitas peningkatan sebesar 13,0% terhadap kontrol dan berada pada kelompok notasi ab. Hal ini menunjukkan bahwa secara statistik perlakuan ini tidak berbeda nyata baik terhadap biochar sekam 5% maupun terhadap biochar blotong 5%. Fenomena ini mengindikasikan bahwa peningkatan dosis biochar tidak selalu diikuti oleh peningkatan kapasitas menahan air secara linier. Pada dosis yang lebih tinggi, partikel biochar diduga mulai mengisi pori makro tanah secara berlebihan sehingga menurunkan proporsi pori efektif yang berfungsi sebagai ruang retensi air (Edeh & Mašek, 2022).

Perlakuan biochar blotong 5% menunjukkan peningkatan kadar lengas maksimum sebesar 7,1% dibandingkan kontrol, dengan nilai rata-rata 37,86% dan berada pada kelompok notasi ab. Namun pada dosis 10%, nilai kadar lengas maksimum menurun menjadi 35,89% dengan efektivitas hanya 1,6%, serta berada pada kelompok notasi b yang tidak berbeda nyata dengan kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik bahan baku biochar sangat menentukan efektivitasnya. Blotong, sebagai limbah industri gula, umumnya memiliki kandungan abu dan mineral yang lebih tinggi, namun struktur porinya kurang berkembang dibandingkan biochar sekam padi,

sehingga kemampuan retensi airnya relatif lebih rendah (Jeong *et al.*, 2016).

Perlakuan sekam mentah 5% menghasilkan nilai kadar lengas maksimum terendah sebesar 33,74%, bahkan menunjukkan penurunan efektivitas sebesar 4,5% dibandingkan kontrol, dan berada pada kelompok notasi b. Hasil ini menegaskan bahwa bahan organik segar yang belum mengalami pirolisis belum mampu meningkatkan kapasitas menahan air tanah dalam jangka pendek. Sekam mentah masih mengalami proses dekomposisi aktif, sehingga struktur fisiknya belum stabil dan belum membentuk sistem pori permanen yang efektif untuk retensi air (Chen *et al.*, 2011).

Peningkatan kapasitas menahan air oleh biochar tidak hanya disebabkan oleh efek fisik berupa peningkatan porositas, tetapi juga oleh perubahan sifat kimia permukaan biochar, seperti terbentuknya gugus fungsi hidroksil dan karboksil yang bersifat hidrofilik (Fan *et al.*, 2018). Gugus-gugus tersebut meningkatkan afinitas biochar terhadap molekul air serta memperkuat ikatan air dalam agregat tanah. Selain itu, biochar berperan sebagai agen stabilisasi agregat yang mampu mengurangi degradasi struktur tanah akibat siklus pembasahan dan pengeringan.

Aplikasi biochar berpengaruh nyata terhadap kadar lengas maksimum tanah, Tingkat efektivitas sangat bergantung pada jenis bahan baku dan rasio dosis yang diberikan. Biochar sekam padi pada dosis rendah (5%) terbukti menjadi perlakuan paling optimal, yang mampu meningkatkan kapasitas retensi air secara signifikan hingga 28,0% dibandingkan kontrol. Peningkatan dosis aplikasi menjadi 10% maupun penggunaan bahan baku alternatif seperti biochar blotong dan sekam mentah, tidak menghasilkan hubungan yang linier dan justru cenderung menurunkan efektivitas WHC, temuan ini menegaskan bahwa pemilihan material secara selektif dan presisi dosis adalah kunci utama pemanfaatan biochar sebagai teknologi adaptasi berkelanjutan di lahan marginal.

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa jenis bahan baku dan dosis aplikasi biochar memberikan pengaruh yang nyata terhadap peningkatan kadar lengas

maksimum tanah. Perlakuan biochar sekam padi dengan dosis rendah (5%) terbukti meningkatkan WHC secara optimal, (Peningkatan WHC hingga 28,0%, dengan nilai tertinggi 45,216%) dibandingkan dengan kontrol. Sebaliknya, penambahan dosis menjadi 10% tidak menunjukkan hubungan yang linier dan justru menurunkan efektivitas WHC, sejalan dengan respons biochar blotong yang kurang optimal serta aplikasi sekam mentah yang menurunkan kapasitas menahan air tanah. Secara keseluruhan, temuan ini menegaskan bahwa karakteristik bahan baku dari proses pirolisis serta penentuan dosis yang presisi merupakan faktor kunci keberhasilan biochar sebagai amelioran untuk mengatasi keterbatasan air di lahan pertanian.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) INSTIPER atas dukungan pendanaan yang telah diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian di laboratorium.

### Referensi

Adhikari, S., Mahmud, M. A. P., Nguyen, M. D., & Timms, W. (2023). Evaluating fundamental biochar properties in relation to water holding capacity. *Chemosphere*, 328, 138620. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138620>

Chen, Y., Zhu, Y., Wang, Z., Li, Y., Wang, L., Ding, L., Gao, X., Ma, Y., & Guo, Y. (2011). Application studies of activated carbon derived from rice husks produced by chemical-thermal process—A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 163(1), 39–52. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2011.01.006>

Edeh, I. G., & Mašek, O. (2022). The role of biochar particle size and hydrophobicity in improving soil hydraulic properties. *European Journal of Soil Science*, 73(1), e13138. <https://doi.org/10.1111/ejss.13138>

Fan, Q., Sun, J., Chu, L., Cui, L., Quan, G., Yan, J., Hussain, Q., & Iqbal, M. (2018). Effects of chemical oxidation on surface oxygen-containing functional groups and adsorption behavior of biochar. *Chemosphere*, 207, 33–40. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.05.044>

Islam, M. U., Jiang, F., Guo, Z., & Peng, X. (2021). Does biochar application improve soil aggregation? A meta-analysis. *Soil and Tillage Research*, 209, 104926. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104926>

Jeong, C. Y., Dodla, S. K., & Wang, J. J. (2016). Fundamental and molecular composition characteristics of biochars produced from sugarcane and rice crop residues and by-products. *Chemosphere*, 142, 4–13. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.05.084>

Li, L., Zhang, Y.-J., Novak, A., Yang, Y., & Wang, J. (2021). Role of Biochar in Improving Sandy Soil Water Retention and Resilience to Drought. *Water*, 13(4), 407. <https://doi.org/10.3390/w13040407>

Li, Z., Zheng, Z., Li, H., Xu, D., Li, X., Xiang, L., & Tu, S. (2023). Review on Rice Husk Biochar as an Adsorbent for Soil and Water Remediation. *Plants*, 12(7), 1524. <https://doi.org/10.3390/plants12071524>

Naorem, A., Jayaraman, S., Dang, Y. P., Dalal, R. C., Sinha, N. K., Rao, Ch. S., & Patra, A. K. (2023). Soil Constraints in an Arid Environment—Challenges, Prospects, and Implications. *Agronomy*, 13(1), 220. <https://doi.org/10.3390/agronomy13010220>

Sun, F., & Lu, S. (2014). Biochars improve aggregate stability, water retention, and pore-space properties of clayey soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177(1), 26–33. <https://doi.org/10.1002/jpln.201200639>

Wijitkosum, S. (2022). Biochar derived from agricultural wastes and wood residues for sustainable agricultural and environmental applications. *International Soil and Water Conservation Research*, 10(2), 335–341. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.09.006>

Zhang, J., Gu, G., Ji, C., Zhou, Y., Li, J., Peng, C., Wang, Y., Li, Y., Yang, S., & E, T.

(2026). Oxygen-limited pyrolysis drives biochar-clay mineral interface composite for synergistic improvement of soil quality and carbon sequestration. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 728, 138768. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2025.138768>

Zhang, Y., Ding, J., Wang, H., Su, L., & Zhao, C. (2020). Biochar addition alleviate the negative effects of drought and salinity stress on soybean productivity and water use efficiency. *BMC Plant Biology*, 20(1), 288. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02493-2>