

Transformasi Sifat Tekstur dan Bahan Organik Tanah Psamment oleh Makro Biochar

Change in the Texture and Soil Organic Matter of Psamment Induced by Macro Biochar

Elsa Lolita Putri*, Agus Iswanriyanto, Kartika Utami

Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu, Bengkulu, Indonesia

* Corresponding author e-mail: elsalolitaputri@unib.ac.id

Received: 30 April 2026

Revised: 30 April 2026

Accepted: 7 May 2026

ABSTRACT

Background: Psamment soils utilized for sustainable agriculture face constraints due to low nutrient and organic matter content, as well as poor physical properties such as high bulk density, low water retention, and inadequate soil structure. Biochar is known to improve soil physical and chemical properties, but the effect of its particle size on Psamment soil remains underexplored. **Objective:** This study aimed to investigate the effect of biochar particle size on the physical properties (texture) and organic matter content of Psamment soil. **Methods:** Biochar was produced at a pyrolysis temperature of 450–500°C and fractionated into four dry sieve sizes: 2–1 mm, 1–0.5 mm, 0.5–0.1 mm, and <0.1 mm. Each biochar size was applied at a rate of 5% (w/w) to soil pots containing Psamment soil, with a control treatment (no biochar). All treatments were replicated five times, resulting in 25 experimental units. The pots were incubated at room temperature for 21 days, with moisture maintained at field capacity. Soil texture (hydrometer method) and organic carbon (Walkley & Black method) were measured after incubation. **Results:** The application of biochar, particularly the 2–1 mm size fraction, increased soil organic carbon content and improved the texture balance of Psamment soil compared to the control. The 2–1 mm biochar exhibited the highest organic matter content. Smaller biochar particles (<0.5 mm) showed reduced effectiveness. The control soil (without biochar) had 94.35% sand, 1.86% clay, and 3.79% dust, while biochar treatments altered the fractions. **Conclusions:** Fractionating biochar into macro-sized particles (<2 mm), specifically the 2–1 mm size, effectively increases soil organic matter content and improves the texture of Psamment soil.

Keywords: Biochar; Fractionation; Particle size; Psamment; Soil texture.

ABSTRAK

Pendahuluan: Tanah Psamment yang dimanfaatkan untuk pertanian berkelanjutan menghadapi kendala akibat rendahnya kandungan nutrisi dan bahan organik, serta sifat fisik yang buruk seperti bobot isi tinggi, retensi air rendah, dan struktur tanah yang tidak memadai. Biochar diketahui dapat memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah, namun pengaruh ukuran partikel biochar pada tanah Psamment masih jarang diteliti. **Tujuan:** Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh ukuran partikel biochar terhadap sifat fisik (tekstur) dan kandungan bahan organik tanah Psamment. **Metode:** Biochar diproduksi pada suhu pirolisis 450–500°C dan difraksinasi menjadi empat ukuran ayakan kering: 2–1 mm, 1–0,5 mm, 0,5–0,1 mm, dan <0,1 mm. Masing-masing ukuran biochar diaplikasikan dengan dosis 5% (b/b) ke dalam pot berisi tanah Psamment, dengan perlakuan kontrol (tanpa biochar). Semua perlakuan diulang lima kali sehingga terdapat 25 unit percobaan. Pot diinkubasi pada suhu ruang selama 21 hari, dengan kelembapan dijaga pada kapasitas lapang. Tekstur tanah (metode hidrometer) dan karbon organik (metode Walkley & Black) diukur setelah inkubasi. **Hasil:** Aplikasi biochar, terutama fraksi ukuran 2–1 mm, meningkatkan kandungan karbon organik tanah dan memperbaiki keseimbangan tekstur tanah Psamment dibandingkan kontrol. Biochar ukuran 2–1 mm menunjukkan kandungan bahan organik tertinggi. Partikel biochar yang lebih kecil (<0,5 mm) menunjukkan efektivitas yang menurun. Tanah kontrol (tanpa biochar) memiliki kandungan pasir 94,35%, liat 1,86%, dan debu 3,79%, sementara perlakuan biochar mengubah fraksi tersebut. **Kesimpulan:** Fraksinasi biochar menjadi partikel berukuran makro (<2 mm), khususnya ukuran 2–1 mm, efektif meningkatkan kandungan bahan organik tanah dan memperbaiki tekstur tanah Psamment.

Kata kunci: Biochar; Fraksinasi; Ukuran partikel; Psamment; Tekstur tanah

PENDAHULUAN

Sebagian besar tanah Psamment yang dimanfaatkan untuk pertanian berkelanjutan terhambat oleh beberapa kendala akibat rendahnya kandungan nutrisi dan bahan organik dalam tanah. Selain itu, tanah bertekstur ringan di daerah kering dicirikan oleh struktur tanah yang buruk yang menyebabkan kondisi fisik yang tidak memadai, peningkatan kepadatan tanah konduktivitas hidrolik yang lebih besar, dan retensi air yang rendah, yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan mengurangi produksi pertanian. Biochar adalah residu padat hitam yang kaya karbon yang biasanya diproduksi dengan pirolisis, dalam kondisi oksigen terbatas, dari biomassa berbagai pertanian, pupuk kandang, dan limbah perkotaan (Adrinal et al., 2024)

Biochar telah banyak digunakan sebagai amandemen tanah untuk meningkatkan sifat kimia (misalnya meningkatkan pH di tanah masam, dan meningkatkan kapasitas tukar kation dan penyerapan nutrisi) dan fisik (misalnya mengurangi konduktivitas hidrolik di tanah berpasir dan meningkatkan retensi air) tanah (Mahmood et al., 2025). Salah satu keuntungan utama biochar dibandingkan bentuk residu tanaman dan amandemen organik lainnya adalah lebih tahan terhadap degradasi mikroba dan mineralisasi di tanah (Li et al., 2025), oleh karena itu, setelah dimasukkan ke dalam tanah, biochar akan bertahan selama bertahun-tahun. Meningkatnya stabilitas biochar dan fakta bahwa ia memiliki kemampuan untuk bertindak sebagai penyerap karbon, yang menunjukkan bahwa biochar dapat membantu dalam proses penyerapan C, menambah nilai lingkungan tambahan pada aplikasi biochar ke lahan Pertanian (Tan, 2019). Peningkatan sifat fisik dan kimia tanah sangat bergantung pada sifat biochar yang ditambahkan dan tingkat aplikasinya. Tingkat aplikasi biochar di lapangan biasanya berkisar antara 10 dan 100 Mg ha⁻¹ (Arthur et al., 2015; Jeffery et al., 2015; Zhao et al., 2016).

Dampak positif biochar pada sifat fisik tanah terutama disebabkan oleh sifat permukaan biochar yang ditandai dengan luas permukaan yang besar dan struktur yang sangat berpori (Jiao et al., 2025). Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa aplikasi biochar pada tanah bertekstur ringan (misalnya pasir, pasir lempung, dan lempung berpasir) telah secara signifikan mengurangi kepadatan massa tanah (Kamyab et

al., 2025), memperbaiki struktur pori tanah (Yang et al., 2025), dan meningkatkan stabilitas agregat tanah (Rambhatla et al., 2025)(Obia et al., 2016). Di sisi lain, sifat hidrolik tanah memainkan peran kunci dalam peningkatan kualitas fisik tanah, dengan efek besar pada retensi air dan pengangkutan air dan zat terlarut dalam tanah, yang kemudian berdampak pada pertumbuhan dan hasil tanaman. Aplikasi biochar telah terbukti mengurangi konduktivitas hidrolik jenuh tanah, terutama di tanah bertekstur ringan (Alawa et al., 2025; Uppalapati et al., 2025). Misalnya, Ajayi dan Horn (Ajayi & Horn, 2016) melaporkan penurunan antara 23 dan 82% dalam konduktivitas hidrolik jenuh tanah berpasir halus ketika diubah dengan tingkat aplikasi besar (2–5%, W/W) biochar. Kemampuan tanah untuk menahan lebih banyak air juga meningkat dengan aplikasi biochar. Dalam hal ini, De Luca et al. (DeLuca et al., 2024) melaporkan peningkatan kapasitas menahan air karena sifat partikel biochar yang sangat berpori. Kadar air pada kapasitas lapangan (FC) meningkat sebesar 15% dengan aplikasi 2% (W/W) biochar ke tanah lempung halus (Zahra et al., 2025).

Efek amandemen biochar pada sifat hidrolik tanah bertekstur ringan bergantung pada beberapa faktor termasuk jenis bahan baku, suhu pirolisis, laju aplikasi, dan ukuran partikel biochar (El-Fawal et al., 2025; Z. Liu et al., 2017; Wang et al., 2018). Mollinedo dkk. (Mollinedo et al., 2015) menyelidiki efek suhu pirolisis pada sifat hidrolik tanah dan menemukan bahwa biochar yang diproduksi pada suhu yang lebih tinggi lebih efektif dalam meningkatkan retensi air dan kandungan air yang tersedia di dalam tanah. Peningkatan suhu pirolisis, hingga tingkat tertentu, menurunkan sifat hidrofobisitas biochar yang diproduksi, sehingga meningkatkan kemampuannya untuk menyerap air dan berkontribusi pada peningkatan retensi air di tanah berpasir (Sheikh et al., 2025). Sebaliknya, efek ukuran partikel biochar pada sifat hidrolik tanah kurang mendapat perhatian penelitian. Interaksi partikel biochar dengan matriks tanah sangat bergantung pada ukuran partikel biochar (Alghamdi et al., 2020).

(Blanco-Canqui, 2017). Biochar dengan ukuran lebih kecil kemungkinan memiliki luas permukaan dan mikroporositas yang lebih besar (Xie et al., 2015), oleh karena itu, kemungkinan

akan lebih efisien dalam menyimpan air tanah dibandingkan dengan biochar yang memiliki ukuran partikel lebih besar (Chen et al., 2017). Glab et al. (Glab et al., 2016) menemukan peningkatan kadar air pada kapasitas lapangan ketika tanah berpasir diubah dengan biochar yang ditandai dengan ukuran partikel kecil 0,5 mm. Biochar dibuat dari limbah pohon kurma (campuran daun, batang, dan cabang) yang dikumpulkan dari pertanian swasta di Provinsi Thadeq yang terletak 125 km di sebelah barat laut kota Riyadh. Limbah pohon kurma dibiarkan mengering di bawah sinar matahari langsung dan kemudian dipotong-potong menjadi potongan-potongan kecil (7–10 cm). Limbah pohon kurma tersebut mengalami pirolisis dalam reaktor luar ruangan (reaktor baja silinder dengan diameter 0,6 m dan tinggi 1,0 m) selama 180 menit pada suhu Biochar biasanya diproduksi dalam berbagai ukuran partikel mulai dari beberapa milimeter hingga partikel berukuran nanometer. Selain itu, biochar juga dicirikan oleh ruang intrapore (pori-pori di dalam partikel) yang besar, yang dapat memberikan ruang tambahan untuk retensi air selain ruang yang disediakan oleh interpore (pori-pori di antara partikel) (Fadilah et al., 2021; Puspita et al., 2021; Ratmini et al., 2018).

Penerapan ukuran partikel biochar yang berbeda akan mengubah karakteristik interpore matriks tanah dalam hal volume pori, tortuositas, dan konektivitas, yang pada gilirannya akan mempengaruhi retensi dan transportasi air dalam tanah (Wang et al., 2018). Meskipun sejumlah besar studi penelitian telah mendokumentasikan dampak biochar pada sifat hidrolik tanah bertekstur ringan, hanya sedikit studi yang menyelidiki efek variasi sifat permukaan dari berbagai ukuran partikel biochar, dan mekanisme yang digunakan partikel biochar untuk berinteraksi dengan matriks tanah. Kami berhipotesis bahwa ukuran partikel biochar akan mempengaruhi sifat permukaan campuran tanah biochar, dan akan memvariasikan porositas dan ruang pori dalam tanah Psamment, sehingga mempengaruhi retensi air dan mobilitas dalam tanah. Dengan demikian, tujuan penelitian ini adalah untuk menyelidiki pengaruh ukuran partikel biochar pada kerapatan massa dan sifat hidrolik dalam eksperimen inkubasi rumah kaca, dan untuk menjelaskan dampak variasi struktur pori tanah dan campuran biochar pada retensi air.

METODE

Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilakukan di Desa Beringin Raya, Kecamatan Muara Bangkahulu, Kota Bengkulu. Produksi biochar dilakukan di Laboratorium Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu. Analisis tanah awal dan akhir dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah Psamment yang diambil dari lahan pesisir di Desa Beringin Raya, Kecamatan Muara Bangkahulu, Kota Bengkulu. Bahan lainnya adalah biochar yang diproduksi dari limbah pohon kurma (campuran daun, batang, dan cabang) dengan suhu pirolisis 450–500°C. Biochar tersebut kemudian disaring menjadi empat ukuran partikel kering, yaitu 2–1 mm, 1–0,5 mm, 0,5–0,1 mm, dan <0,1 mm. Alat yang digunakan meliputi reaktor pirolisis (reaktor baja silinder diameter 0,6 m dan tinggi 1,0 m), ayakan bertingkat dengan berbagai ukuran lubang, pot tanah, timbangan analitik, inkubator ruang, serta peralatan laboratorium untuk analisis tekstur tanah (hidrometer) dan kadar C-organik (metode Walkley and Black)..

Metode Penelitian

Biochar yang disiapkan pada suhu pirolisis 450–500°C yang dibagi menjadi empat ukuran kering: 2–1, 1–0,5, 0,5–0,1, <0,1 mm dan dicampur dalam tanah pot dengan tanah Psamment dengan tingkat aplikasi 5%. Tanah pot diinkubasi pada suhu ruang selama 21 hari. Penelitian ini memiliki satu perlakuan kontrol dan empat perlakuan dengan lima ulangan, sehingga menghasilkan 25 pot percobaan. Percobaan ini mengukur sifat fisik tanah berupa tekstur tanah (metoda hydrometer) dan c-organik (metoda walkey and black). Pengolahan data hasil analisis dilakukan dengan parameter tinggi rendah dan perbandingan antar perlakuan percobaan

Analisis Data

Data hasil pengamatan dianalisis secara deskriptif komparatif, yaitu dengan membandingkan nilai parameter antar perlakuan ukuran biochar (P1: <2 mm, P2: <1 mm, P3: <0,5 mm, P4: <0,1 mm) dan kontrol (P0: tanpa biochar). Setiap perlakuan diulang lima kali. Parameter yang diamati meliputi fraksi pasir,

debu, liat, serta kandungan karbon organik tanah. Hasil disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk melihat kecenderungan peningkatan atau penurunan nilai seiring dengan perubahan ukuran partikel biochar. Tidak dilakukan uji statistik parametrik (seperti ANOVA atau uji lanjut) karena penelitian ini bersifat eksploratif dengan penekanan pada perbandingan nilai tertinggi dan terendah antar perlakuan

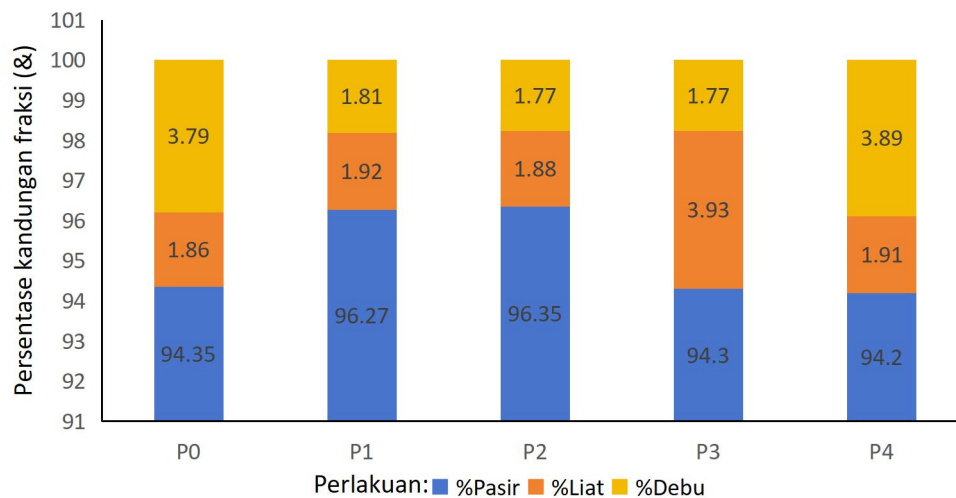
HASIL DAN PEMBAHASAN

Tekstur Tanah

Hasil penelitian disajikan secara sistematis dan dapat didukung oleh tabel atau gambar yang relevan dengan panjang sekitar 1.500–3.000 kata. Pembahasan harus menginterpretasikan hasil yang diperoleh dengan mengaitkannya pada teori atau hasil penelitian sebelumnya. Penulis perlu menonjolkan kontribusi ilmiah dari hasil penelitian serta menghindari pengulangan data mentah dalam narasi

Hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa tanah pada lahan penelitian mengandung 0,19% N yang tergolong rendah, 0,23% C-organik tergolong sedang, 0,28 me/100 g tanah K₂O tergolong rendah, 6,23 ppm P₂O₅ tergolong rendah, dengan nilai pH H₂O sebesar 6,2 yang tergolong agak masam, pH KCl 5,8 yang tergolong agak masam, KTK sebesar 5,21 me/100 g tanah tergolong rendah. Berdasarkan data tersebut maka dapat disimpulkan tanah yang berada pada lokasi penelitian tergolong marginal dengan permasalahan kadar unsur hara, bahan organik, dan KTK tergolong rendah, serta pH agak masam (R. R. Y. H. Bertham et al., 2022; Y. H. Bertham et al., 2020; Zikri et al., 2020).

Analisis Tekstur tanah yang dilakukan setelah masa inkubasi 21 hari biochar pada tanah Psamment pesisir Bengkulu menunjukkan adanya perkembangan fraksi pasir, debu, dan liat dimasing-masing perlakuan.



Gambar 1. Komposisi fraksi pasir, liat, dan debu pada tanah Psamment setelah 21 hari inkubasi dengan berbagai ukuran partikel biochar.

PO (tanpa biochar); P1 (aplikasi biochar ukuran <2mm); P2 (aplikasi biochar ukuran <1mm); P3 (aplikasi biochar ukuran <0.5mm); dan P4 (aplikasi biochar ukuran 0.1mm (Gambar 1). Tekstur tanah control memiliki kandungan pasir 94.35%, liat 1.86%, dan debu 3.79%. Hal ini berbeda dengan kondisi tanah yang diberikan perlakuan biochar dengan masing-masing ukuran. Adanya peningkatan fraksi pasir pada

aplikasi biochar ukuran <2mm hingga <1mm. namun penurunan fraksi pasir kembali terjadi pada aplikasi ukuran biochar yang lebih kecil lagi. Sama halnya dengan kondisi fraksi debu dan liat.

Luas permukaan tanah merupakan salah satu karakteristik tanah yang penting karena berperan dalam mengatur semua fungsi esensial kesuburan tanah, termasuk daya serap air dan

nutrisi, sirkulasi udara, serta aktivitas mikroba (Ashish & Salvi, 2019; Batool et al., 2015; Downie et al., 2009). Kapasitas penahan air dan nutrisi tanah berpasir yang terbatas sebagian disebabkan oleh luas permukaan partikel tanahnya yang relatif kecil (Sharma et al., 2021). Tanah yang mengandung fraksi lempung yang tinggi mungkin memiliki kapasitas penahan air dan nutrisi total yang tinggi, tetapi aerasi yang kurang memadai (Yu et al., 2022). Luas permukaan biochar umumnya lebih tinggi daripada pasir dan sebanding dengan atau lebih tinggi daripada lempung; oleh karena itu, penambahan biochar sebagai bahan pembenah tanah akan meningkatkan luas permukaan spesifik tanah secara keseluruhan (Downie et al., 2009). Pencampuran biochar ke dalam tanah dapat meningkatkan luas permukaan tanah hingga 4,8 kali lipat dibandingkan tanah di sekitarnya (Liang et al., 2014). Sebuah percobaan inkubasi kolom tanah jangka panjang selama 500 hari menunjukkan peningkatan luas permukaan spesifik (hingga 18%) pada tanah liat yang telah diperbaiki ketika biochar kayu keras diaplikasikan dengan dosis hingga 20 g kg⁻¹ (Laird et al., 2010). Selain itu, porositas biochar yang tinggi dapat memainkan peran penting dalam meningkatkan kualitas fisik permukaan tanah yang telah diberi biochar. Penerapan biochar pada tanah yang tidak subur meningkatkan porositas melalui struktur internalnya yang berpori serta ukuran dan bentuk partikelnya (Sparkes & Stoutjesdijk, 2011). Efek gabungan dari biochar, tanah liat, dan bahan organik tanah dapat menyebabkan pembentukan mikro-agregat seiring waktu, yang akan meningkatkan porositas tanah (Cheng et al., 2006; Rodowskia et al., 2006). Peningkatan porositas dan luas permukaan biochar juga memungkinkan biochar menahan lebih banyak kelembapan. Telah disarankan bahwa kepadatan volume biochar yang rendah (~300 kg/m³) dan karbon organiknya yang sangat stabil berpotensi mengurangi kepadatan volume tanah dan resistansi penetrasi, serta meningkatkan porositas total tanah (Gwenzi et al., 2015). Sebuah eksperimen kolom yang dilakukan oleh (Barnes et al., 2014) menunjukkan bahwa penambahan biochar menurunkan densitas volume pasir dan tanah liat masing-masing sebesar 17% dan 20%. Penerapan biochar jerami gandum pada tanah menghasilkan peningkatan materi organik tanah dan penurunan bersih densitas volume tanah. Dalam studi lapangan

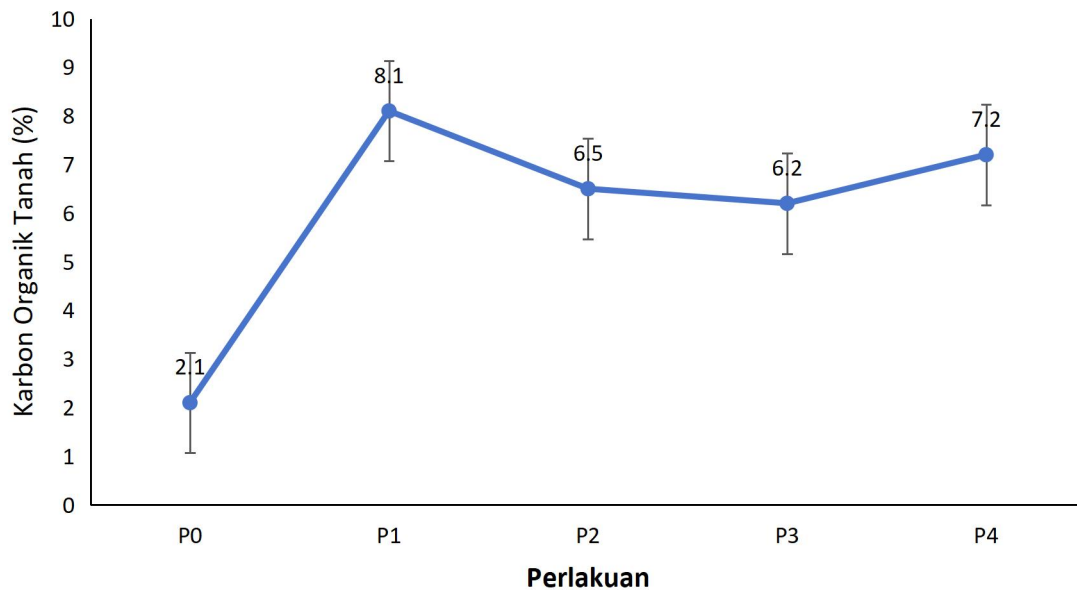
selama dua tahun pada padi, pemberian biochar menurunkan kepadatan volume tanah dalam dua siklus pertumbuhan padi berturut-turut (Zhang et al., 2012). Sebuah percobaan rumah kaca di Spanyol dengan bunga matahari dirancang untuk mengevaluasi pengaruh biochar yang diproduksi dari lima bahan baku berbeda terhadap sifat-sifat tanah (Alburquerque et al., 2014).

Biochar telah banyak dipromosikan sebagai cara untuk meningkatkan berbagai kualitas fisik tanah melalui pengaruhnya terhadap sifat-sifat hidrologis (yaitu, daya serap air, kadar air, konduktivitas hidraulik, retensi air, laju infiltrasi air) pada tanah yang diberi tambahan biochar (Baronti et al., 2014; Brantley et al., 2015; Devereux et al., 2013; Laird et al., 2010; Novak et al., 2012). Laird et al. (2010) melaporkan bahwa tanah yang diperkaya dengan biochar kayu keras menunjukkan retensi air yang lebih tinggi (hingga 15%) pada keseimbangan drainase gravitasi dan potensial air tanah 100 dan 500 kPa dibandingkan dengan kontrol yang tidak diperkaya. Dalam studi lapangan dengan biochar Birch (*Betula* spp.) yang dimasukkan ke dalam tanah lempung lanau di Finlandia, penambahan biochar meningkatkan kapasitas penahan air sebesar 11% dibandingkan dengan kontrol yang tidak diberi tambahan (Karhu et al., 2011; Semida et al., 2019).

Karbon organik tanah (C-organik)

Hasil analisis karbon organik tanah juga terlihat adanya peningkatan kandungan pada pemberian biochar pada tanah Psamment. Namun, dari gambar 3 menunjukkan bahwa nilai puncak terjadi pada pemberian biochar pada ukuran <2mm dan mengalami penurunan bersamaan dengan kecilnya ukuran biochar yang diberikan.

Struktur biochar terdiri dari karbon, nitrogen, dan hidrogen, serta mengandung unsur-unsur anorganik seperti natrium, kalium, kalsium, magnesium, besi, mangan, dan silikon yang memberikan sifat kimia unik pada biochar (He et al., 2020; Xu et al., 2013). Penambahan biochar ke dalam tanah umumnya menyebabkan peningkatan pH tanah dan penyerapan nutrisi, sehingga berperan dalam meningkatkan nutrisi tanaman dan toleransi terhadap stres (Leng et al., 2020; Akhil et al., 2021). Kelompok alifatik, aromatik, hidroksil, karboksil, karbonil, amida, dan asil merupakan kelompok fungsional permukaan yang umum pada biochar (X. Liu et al., 2019).



Gambar 2. Kandungan karbon organik (C-organik) tanah Psamment setelah 21 hari inkubasi dengan berbagai ukuran partikel biochar. Keterangan: P0 (kontrol, tanpa biochar), P1 (biochar ukuran <2 mm), P2 (biochar ukuran <1 mm), P3 (biochar ukuran <0,5 mm), P4 (biochar ukuran <0,1 mm)

Kelompok-kelompok ini juga memengaruhi derajat sorpsi, penyangga pH, muatan permukaan (biasanya negatif), serta perubahan hidrofobisitas atau hidrofilisitas (El-naggar et al., 2019). Luas permukaan biochar berubah sesuai dengan porositasnya, yaitu nanopori < 0,9 nm, mikropori < 2 nm, dan makropori > 50 nm. Pori-pori yang terakhir ini memfasilitasi keberadaan mikroba dengan mendorong habitat niche dan memainkan peran penting dalam aerasi dan hidrologi tanah, sedangkan pori-pori yang lebih kecil terlibat dalam adsorpsi molekul (Marques et al., 2005).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa aplikasi biochar dengan ukuran 2–1 mm efektif meningkatkan kandungan karbon organik tanah Psamment serta memperbaiki keseimbangan tekstur tanah, yang ditandai dengan peningkatan fraksi debu dan liat serta penurunan fraksi pasir dibandingkan kontrol. Sebaliknya, penggunaan biochar dengan ukuran partikel lebih kecil (<0,5 mm) justru menurunkan efektivitasnya terhadap peningkatan C-organik dan perbaikan tekstur tanah. Dengan demikian, fraksinasi biochar menjadi ukuran makro (<2 mm) direkomendasikan sebagai strategi ameliorasi untuk memperbaiki kandungan bahan organik

dan tekstur tanah Psamment.

REFERENCES

- Adrinal, Gusmini, Putri, E. L., & Delind, N. M. F. 2024. Application of Clay and Rice Husk Biochar and its effect on Soil Pore Distribution of Psamment and Corn Yield. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1306(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1306/1/012025>
- Ajayi, A. E., & Horn, R. 2016. Modification of chemical and hydrophysical properties of two texturally differentiated soils due to varying magnitudes of added biochar. *Soil and Tillage Research*, 164(2015), 34–44. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.01.011>
- Akhil, D., Lakshmi, D., Kartik, A., Viet, D., & Jayaseelan, N. V. 2021. Production , characterization , activation and environmental applications of engineered biochar: a review. In *Environmental Chemistry Letters (Issue 0123456789)*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01167-7>

- Alawa, B., Singh, S., Chakma, S., Kishor, R., Stålsby Lundborg, C., & Diwan, V. 2025. Development of novel biochar adsorbent using agricultural waste biomass for enhanced removal of ciprofloxacin from water: Insights into the isotherm, kinetics, and thermodynamic analysis. *Chemosphere*, 375(November 2024), 144252. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2025.144252>
- Alburquerque, J. A., Calero, J. M., Barrón, V., Torrent, J., Carmen, M., Gallardo, A., & Villar, R. 2014. Effects of biochars produced from different feedstocks on soil properties and sunflower growth §. *J Plant Nutr Soil Sci*, 177, 16–25. <https://doi.org/10.1002/jpln.201200652>
- Alghamdi, A. G., Alkhasha, A., & Ibrahim, H. M. 2020. Effect of biochar particle size on water retention and availability in a sandy loam soil. *Journal of Saudi Chemical Society*, 24(12), 1042–1050. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2020.11.003>
- Arthur, E., Tuller, M., Moldrup, P., & de Jonge, L. W. 2015. Effects of biochar and manure amendments on water vapor sorption in a sandy loam soil. *Geoderma*, 243–244, 175–182. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.01.001>
- Ashish, N. L. P., & Salvi, P. B. L. 2019. Comprehensive review on production and utilization of biochar. *SN Applied Sciences*, 1(2), 1–19. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0172-6>
- Barnes, R. T., Gallagher, M. E., Masiello, C. A., Liu, Z., & Dugan, B. 2014. Biochar-induced changes in soil hydraulic conductivity and dissolved nutrient fluxes constrained by laboratory experiments. *PLoS ONE*, 9(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0108340>
- Baronti, S., Vaccari, F. P., Miglietta, F., Calzolari, C., Lugato, E., & Orlandini, S. 2014. Impact of biochar application on plant water relations in *Vitis vinifera* (L.). *European Journal of Agronomy*, 53, 38–44.
- Batool, A., Taj, S., Rashid, A., Khalid, A., Qadeer, S., Saleem, A. R., & Ghufra, M. A. 2015. Potential of soil amendments (Biochar and Gypsum) in increasing water use efficiency of *Abelmoschus esculentus* L. Moench. *Frontiers in Plant Science*, 6(September), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00733>
- Bertham, R. R. Y. H., Ningrum, E. E., & Adiprasetyo, R. T. 2022. Pengaruh Pupuk Mikro Majemuk Dan Asam Humat terhadap ketersediaan P dan hasil padi gogo di lahan pesisir. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*, 24(2), 75–81.
- Bertham, Y. H., Nusantara, A. D., Murcitra, B. G., & Arifin, Z. 2020. Perubahan karakteristik tanah dan penampilan beberapa varietas padi gogo pada kawasan pesisir dengan penambahan pupuk hayati dan biokompos. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*, 22(2), 79–84.
- Blanco-Canqui, H. 2017. Biochar and Soil Physical Properties. *Soil Science Society of America Journal*, 81(4), 687–711. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.01.0017>
- Brantley, K. E., Brye, K. R., Savin, M. C., & Longer, D. E. 2015. Biochar Source and Application Rate Effects on Soil Water Retention Determined Using Wetting Curves. *Open Journal of Soil Science*, 5, 1–10.
- Chen, J., Li, S., Liang, C., Xu, Q., Li, Y., Qin, H., & Fuhrmann, J. J. 2017. Response of microbial community structure and function to short-term biochar amendment in an intensively managed bamboo (*Phyllostachys praecox*) plantation soil: Effect of particle size and addition rate. *Science of the Total Environment*, 574, 24–33. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.190>
- Cheng, C., Lehmann, J., Thies, J. E., Burton, S. D., & Engelhard, M. H. 2006. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. *Organic Geochemistry*, 37, 1477–1488. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2006.06.022>
- DeLuca, T. H., Gundale, M. J., MacKenzie, M. D., Gao, S., & Jones, D. L. 2024. Biochar effects on soil nutrient transformations. In *Biochar for Environmental Management: Science,*

- Technology and Implementation (Issue January).
<https://doi.org/10.4324/9781003297673-16>
- Devereux, R. C., Sturrock, C. J., Mooney, S. J., Devereux, R. C., Sturrock, C. J., & Mooney, S. J. 2013. The effects of biochar on soil physical properties and winter wheat growth The effects of biochar on soil physical properties and winter wheat growth. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Royal Society of Edinburgh*, 103(1), 13–18.
<https://doi.org/10.1017/S1755691012000011>
- Downie, A., Munroe, P., & Crosky, A. 2009. Chapter 2: Characteristics of Biochar-Physical and Structural Properties. In *Biochar for Environmental Management: Science, Technology* (pp. 23–308).
- El-Fawal, E. M., El Nagggar, A. M. A., El-Zahhar, A. A., Alghandi, M. M., Morshedy, A. S., El Sayed, H. A., & Mohammed, A. elshifa M. E. 2025. Biofuel production from waste residuals: comprehensive insights into biomass conversion technologies and engineered biochar applications. *RSC Advances*, 15(15), 11942–11974.
<https://doi.org/10.1039/d5ra00857c>
- El-nagggar, A., El-nagggar, A. H., Shaheen, S. M., Sarkar, B., Chang, S. X., Tsang, D. C. W., Rinklebe, J., & Sik, Y. 2019. Biochar composition-dependent impacts on soil nutrient release , carbon mineralization , and potential environmental risk : A review. *Journal of Environmental Management*, 241(January), 458–467.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.044>
- Fadilah, P., Manfarizah, M., & Darusman, D. 2021. Pengaruh Ukuran Partikel Biochar Bambu Terhadap Sifat Fisika Tanah, Kadar Hara N, P, K dan Produksi Tanaman Kedelai (*Glycine max L.*) Selama Dua Musim Tanam (Jagung - Kedelai). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 6(3), 294–302.
<https://doi.org/10.17969/jimfp.v6i3.17590>
- Głąb, T., Palmowska, J., Zaleski, T., & Gondek, K. 2016. Effect of biochar application on soil hydrological properties and physical quality of sandy soil. *Geoderma*, 281, 11–20.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.06.028>
- Gwenzi, W., Chaukura, N., Mukome, F. N. D., & Machado, S. 2015. Biochar production and applications in sub-Saharan Africa: Opportunities , constraints , risks and uncertainties. *Journal of Environmental Management*, 150, 250–261.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.11.027>
- He, K., He, G., Wang, C., Zhang, H., Xu, Y., & Wang, S. 2020. Biochar amendment ameliorates soil properties and promotes *Miscanthus* growth in a coastal saline-alkali soil. *Applied Soil Ecology*, 155(October 2019), 103674.
<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103674>
- Ibrahim, H. M., Al-Wabel, M. I., Usman, A. R. A., & Al-Omran, A. 2013. Effect of conocarpus biochar application on the hydraulic properties of a sandy loam soil. *Soil Science*, 178(4), 165–173.
<https://doi.org/10.1097/SS.0b013e3182979eac>
- Jeffery, S., Meinders, M. B. J., Stoof, C. R., Bezemer, T. M., van de Voorde, T. F. J., Mommer, L., & van Groenigen, J. W. 2015. Biochar application does not improve the soil hydrological function of a sandy soil. *Geoderma*, 251–252, 47–54.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.03.022>
- Jiao, W., Li, K., Zhou, M., Zhou, N., Chen, Q., Hu, T., & Qi, C. 2025. Determining whether biochar can effectively increase crop yields: A machine learning model development with imbalanced data. *Environmental Technology and Innovation*, 38(March), 104154.
<https://doi.org/10.1016/j.eti.2025.104154>
- Kamyab, H., Chelliapan, S., Khalili, E., Rezania, S., Balasubramanian, B., Taheri, M. M., Simancas-Racines, D., Rajendran, S., & Yusuf, M. 2025. Biochar as a carrier for plant growth-promoting bacteria in phytoremediation of pesticides. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 18(February), 100673.

- <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2025.100673>
- Karhu, K., Mattila, T., Bergström, I., & Regina, K. 2011. Agriculture , Ecosystems and Environment Biochar addition to agricultural soil increased CH₄ uptake and water holding capacity – Results from a short-term pilot field study. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 140, 309–313. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.12.005>
- Laird, D. A., Fleming, P., Davis, D. D., Horton, R., Wang, B., & Karlen, D. L. 2010. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, 158(3–4), 443–449. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.05.013>
- Leng, L., Xu, S., Liu, R., Yu, T., Zhuo, X., Leng, S., Xiong, Q., & Huang, H. 2020. Nitrogen containing functional groups of biochar: an overview. *Bioresource Technology*, 298, 122286. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122286>
- Li, F., Wang, N., He, X., Deng, M., Yuan, X., Zhang, H., Nzihou, A., Tsang, D. C. W., Wang, C. H., & Ok, Y. S. 2025. Biochar-based catalytic upgrading of plastic waste into liquid fuels towards sustainability. *Communications Earth and Environment*, 6(1). <https://doi.org/10.1038/s43247-025-02286-1>
- Liang, C., Zhu, X., Fu, S., & Méndez, A. 2014. Biochar alters the resistance and resilience to drought in a tropical soil. *Environ Res Lett*, 9(064013). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/6/064013>
- Liu, J., Schulz, H., Brandl, S., Miehtke, H., Huwe, B., & Glaser, B. 2012. Short-term effect of biochar and compost on soil fertility and water status of a Dystric Cambisol in NE Germany under field conditions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175(5), 698–707. <https://doi.org/10.1002/jpln.201100172>
- Liu, X., Mao, P., Li, L., & Ma, J. 2019. Science of the Total Environment Impact of biochar application on yield-scaled greenhouse gas intensity: A meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 656(127), 969–976. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.396>
- Liu, Z., Dugan, B., Masiello, C. A., & Gonnermann, H. M. 2017. Biochar particle size, shape, and porosity act together to influence soil water properties. *PLoS ONE*, 12(6), 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179079>
- Mahmood, F., Ali, M., Khan, M., Mbeugang, C. F. M., Isa, Y. M., Kozlov, A., Penzik, M., Xie, X., Yang, H., Zhang, S., & Li, B. 2025. A review of biochar production and its employment in synthesizing carbon-based materials for supercapacitors. *Industrial Crops and Products*, 227(February), 120830. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.120830>
- Marques, P., Melo, V. De, Eموke, B., Santos, A., Hockaday, W. C., & Hatcher, P. G. 2005. Characterization of humic like substances obtained by chemical oxidation of eucalyptus charcoal. *Organic Geochemistry*, 36, 1480–1489. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2005.08.001>
- Mollinedo, J., Schumacher, T. E., & Chintala, R. 2015. Influence of feedstocks and pyrolysis on biochar's capacity to modify soil water retention characteristics. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 114, 100–108. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2015.05.006>
- Novak, J. M., Busscher, W. J., Watts, D. W., Amonette, J. E., Ippolito, J. A., Lima, I. M., Gaskin, J., Das, K. C., Steiner, C., Ahmedna, M., Rehrh, D., & Schomberg, H. 2012. Biochars Impact on Soil-Moisture Storage in an Ultisol and Two Aridisols. *Soil Science*, 177(5), 310–320. <https://doi.org/10.1097/SS.0b013e31824e5593>
- Obia, A., Mulder, J., Martinsen, V., Cornelissen, G., & Børresen, T. 2016. In situ effects of biochar on aggregation, water retention and porosity in light-textured tropical soils. *Soil and Tillage Research*, 155, 35–44. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.08.002>

- Puspita, V., Syakur, S., & Darusman, D. 2021. Karakteristik Biochar Sekam Padi Pada Dua Temperatur Pirolisis. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 6(4), 732–739. <https://doi.org/10.17969/jimfp.v6i4.18404>
- Rambhatla, N., Panicker, T. F., Mishra, R. K., Manjeshwar, S. K., & Sharma, A. 2025. Biomass pyrolysis for biochar production: Study of kinetics parameters and effect of temperature on biochar yield and its physicochemical properties. *Results in Engineering*, 25(November 2024), 103679. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103679>
- Ratmini, N. P. S., Juwita, Y., & Sasmita, P. 2018. Pemanfaatan Biochar Untuk Meningkatkan Produktivitas Lahan Sub Optimal. *Prosiding Seminar Nasional Lahan Sub Optimal*, 502–509. <http://conference.unsri.ac.id/index.php/lahansuboptimal/article/view/1253>
- Rodowskia, S. B., Ohnb, B. J., Lessab, H. F., & Melunga, W. A. 2006. Aggregate-occluded black carbon in soil. *European Journal of Soil Science*, 57, 539–546. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00807.x>
- Semida, W. M., Beheiry, H. R., Mamoudou, S., Simpson, C. R., El-mageed, T. A. A., Rady, M. M., & Nelson, S. D. 2019. Biochar implications for sustainable agriculture and environment : A review. *South African Journal of Botany*, 127, 333–347. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.11.015>
- Sharma, A., Jain, A., Chowdary, V., & Gupta, P. 2021. Machine Learning Applications for Precision Agriculture : A Comprehensive Review. *IEEE Access*, 10(1109), 4843–4873. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3048415>
- Sheikh, L., Naz, N., Oranab, S., Younis, U., Alarfaj, A. A., Alharbi, S. A., & Ansari, M. J. 2025. Minimization of cadmium toxicity and improvement in growth and biochemical attributes of spinach by using acidified biochar. *Scientific Reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-90746-1>
- Sparkes, J., & Stoutjesdijk, P. 2011. Biochar : implications for agricultural productivity (Issue December).
- Tan, R. R. 2019. Data challenges in optimizing biochar-based carbon sequestration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 104(January), 174–177. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.032>
- Uppalapati, S., Paramasivam, P., Kilari, N., Chohan, J. S., Kanti, P. K., Vemanaboina, H., Dabelo, L. H., & Gupta, R. 2025. Precision biochar yield forecasting employing random forest and XGBoost with Taylor diagram visualization. *Scientific Reports*, 15(1), 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-91450-w>
- Wang, B., Gao, B., Zimmerman, A. R., Zheng, Y., & Lyu, H. 2018. Novel biochar-impregnated calcium alginate beads with improved water holding and nutrient retention properties. *Journal of Environmental Management*, 209, 105–111. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.12.041>
- Xie, T., Reddy, K. R., Wang, C., Yargicoglu, E., & Spokas, K. 2015. Characteristics and applications of biochar for environmental remediation: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45(9), 939–969. <https://doi.org/10.1080/10643389.2014.924180>
- Xu, X., Cao, X., Zhao, L., & Wang, H. 2013. Removal of Cu , Zn , and Cd from aqueous solutions by the dairy manure-derived biochar. *Environ Sci Pollut Res*, 20, 358–368. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-0873-5>
- Yang, W., Zhang, L., Wang, Z., Zhang, J., Li, P., & Su, L. 2025. Effects of biochar and nitrogen fertilizer on microbial communities, CO2 emissions, and organic carbon content in soil. *Scientific Reports*, 15(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-94784-7>
- Yu, T., Mahe, L., Li, Y., Wei, X., & Deng, X. 2022. Benefits of Crop Rotation on Climate Resilience and Its Prospects in China. *Agronomy*, 12(436), 1–18.

- Zahra, A. C. A., Alahakoon, A. M. Y. W., Zhu, L., Prakoso, T., Abudula, A., & Guan, G. 2025. Biochar-assisted gasification of raw biomass: a review on the reactivity and synergistic effect on tar reforming. *Resources Chemicals and Materials*, 4(3), 100115. <https://doi.org/10.1016/j.recmm.2025.100115>
- Zhang, A., Bian, R., Pan, G., Cui, L., Hussain, Q., & Li, L. 2012. Effects of biochar amendment on soil quality, crop yield and greenhouse gas emission in a Chinese rice paddy: A field study of 2 consecutive rice growing cycles. *Field Crops Research*, 127, 153–160. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.11.020>
- Zhao, J., Ren, T., Zhang, Q., Du, Z., & Wang, Y. 2016. Effects of Biochar Amendment on Soil Thermal Properties in the North China Plain. *Soil Science Society of America Journal*, 80(5), 1157–1166. <https://doi.org/10.2136/sssaj2016.01.0020>
- Zikri, M., Sumartono, E., Novanda, R. R., Husaini, A., Amrullah, K., & Anggoro, A. 2020. Pengaruh aplikasi biococotin terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman sawi pada tanah pasir pesisir pantai. *J Solum*, 1, 12–20.

How to Cite This Article:

Putri, E. L., Iswanriyanto, A., & Utami, K. 2026. Transformasi sifat tekstur dan bahan organik tanah Psamment oleh makro biochar. *Dinamika Pertanian*, 42(1): 18-28.