

The Use of Biochar for Improving Soil Quality and Environmental Services

Hardi Kusman^{1*}, Mulyati¹, Suwardji¹

¹Program Studi Pertanian Lahan Kering, Program Pascasarjana Universitas Mataram, Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia;

Article History

Received : Agustus 28th, 2024

Revised : September 19th, 2024

Accepted : October 01th, 2024

*Corresponding Author:

Hardi Kusman, Program Studi Pertanian Lahan Kering, Program Pascasarjana Universitas Mataram, Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia;
Email: jb.tropis@unram.ac.id

Abstract: Biochar is recognized as a versatile and sustainable tool for improving agricultural and environmental conditions due to its unique physicochemical properties, such as soil fertility, nutrient retention and water holding capacity. The presence of biochar, which contains stabilized carbon, not only has a positive impact on plant growth and crop yields through microbial activity, but can also act as a sorbent to remove contaminants from soil and water. However, the use of biochar in soil and its effects on ecosystem services depend on several factors. This article explores the impact of biochar use on soil and the potential to address ecosystem service challenges by improving soil composition, increasing access to water, and removing contaminants, all to promote sustainable agriculture. The method of this article consists of a literature review by collecting data from various sources such as scientific journals, books and seminar proceedings. The data obtained were qualitatively analyzed to review and identify the information, resulting in a critical and comprehensive explanation and discussion of the role of biochar in improving soil and environmental quality for environmental services. The results of the literature review are presented in the form of a coherent, systematic and critical narrative. The results of this article review indicate that on-farm biochar application contributes significantly to climate change mitigation through various mechanisms, including biochar's ability to sequester carbon, improve soil quality, and minimize greenhouse gas emissions.

Keywords: Biochar, environmental remediation, soil fertility.

Pendahuluan

Perubahan iklim, kerusakan tanah, pencemaran tanah, kekurangan air, dan masalah ketahanan pangan membawa ancaman besar terhadap lingkungan dan kelangsungan hidup peradaban manusia. (Alkharabsheh *et al.*, 2021). Untuk menangani masalah tersebut semakin banyak pihak yang tertarik pada praktik pertanian berkelanjutan yang dapat memulihkan kesehatan tanah dan meningkatkan produktivitas ekosistem Pertanian secara keseluruhan. Salah satu solusi yang sedang diteliti adalah penggunaan biochar, yaitu produk karbon yang dihasilkan dari proses pirolisis biomassa (pembakaran) pada suhu tinggi dengan oksigen terbatas.

Biochar, hasil pirolisis yang stabil, memiliki sifat fisik, kimia, dan biologis yang berbeda dari bahan asalnya, yang dapat mempengaruhi kesehatan tanah. Penggunaan biochar dalam pertanian telah menarik perhatian

karena kemampuannya untuk meningkatkan kesuburan tanah, meningkatkan kapasitas tanah dalam menyimpan air, dan mengurangi erosi tanah akibat air atau angin dan keseluruhan dapat meningkatkan jasa lingkungan (*environmental services*) (Evizal & Prasmatiwi, 2023).

Biochar adalah produk yang menyerupai arang yang dihasilkan melalui proses pirolisis dalam kondisi oksigen terbatas pada suhu antara 300-1.000°C, menggunakan biomassa organik seperti sisa-sisa pertanian, kotoran hewan, dan limbah kota sebagai bahan bakunya (Diatta *et al.*, 2020). Biochar menawarkan beberapa manfaat penting dalam bidang pertanian, salah satunya adalah meningkatkan kemampuan tanah untuk menahan dan menukar ion-ion penting (kapasitas tukar kation) selain itu biochar juga menyimpan dan mengikat unsur hara.

Biochar menciptakan lingkungan yang lebih stabil bagi mikroorganisme tanah dan memperlambat proses dekomposisi bahan

organik, biochar juga membantu meminimalisir hilangnya nutrisi tanah, terutama nitrogen (N), fosfor (P), dan unsur hara lainnya. Selain itu, biochar juga berfungsi sebagai wadah penyimpanan karbon yang tahan lama, sehingga berkontribusi dalam upaya mitigasi perubahan iklim global (Raj *et al.*, 2023). Namun, komposisi dan karakteristik biochar sangat dipengaruhi oleh pilihan bahan baku dan proses produksinya, termasuk jenis konversi termal dan suhu yang digunakan (Wang *et al.*, 2020).

Penelitian untuk mengeksplorasi manfaat biochar dalam meningkatkan kualitas tanah telah banyak dilakukan. Namun, pemahaman kita tentang interaksi kompleks antara biochar, tanah, dan tanaman masih terbatas. Beberapa studi menunjukkan efek positif biochar pada pertumbuhan tanaman dan kualitas hasil, sementara penelitian lainnya menunjukkan hasil yang berbeda. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan kondisi optimal penggunaan biochar dalam berbagai sistem pertanian (Javed *et al.*, 2023)

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penggunaan biochar dapat meningkatkan kesuburan tanah dan memperbaiki kualitas tanah yang terdegradasi. Dalam pertanian, biochar berfungsi untuk: 1) meningkatkan ketersediaan nutrisi; 2) mempertahankan nutrisi; 3) mempertahankan air; 4) meningkatkan pH dan kapasitas tukar kation (KTK) di lahan kering masam; 5) menyediakan habitat yang mendukung perkembangan mikroorganisme simbiotik seperti mikoriza, karena kemampuannya menahan air dan udara serta menciptakan lingkungan netral, terutama di tanah masam; 6) meningkatkan produksi tanaman pangan; 7) mengurangi emisi CO₂ dan menyimpan karbon dalam jumlah besar. Selain itu, biochar dapat bertahan lama dalam tanah (> 400 tahun) karena sulit terdekomposisi, teknologi ini tergolong murah dan bahan bakunya mudah didapat dan diperoleh (Nurida *et al.*, dalam Mamat & Sukarman, 2020)

Menentukan manfaat biochar dalam mengurangi perubahan iklim cukup menantang karena kemampuannya untuk menyerap karbon yang stabil, mengurangi emisi gas rumah kaca seperti nitrous oxide dan metana, meningkatkan hasil panen dan efisiensi pupuk, memperbaiki tanah terdegradasi, dan mengurangi polusi air dengan menyerap kontaminan organik (misalnya pestisida, herbisida, pewarna, produk farmasi, zat perawatan pribadi, perfluorokarbon

sulfonat, zat humat, dan N-nitrosodimetilamin) (Ayaz *et al.*, 2021). Jadi biochar dapat memperbaiki kualitas tanah dan memperbaiki jasa ekosistem lingkungan secara umum (*Ecosystem services*). Penggunaan biochar pada tanah terbukti dapat memperbaiki struktur tanah, meningkatkan retensi nutrisi, mendukung pertumbuhan mikroorganisme, dan meningkatkan penyerapan nutrisi oleh tanaman (Arif *et al.*, 2021).

Penggunaan biochar dalam pertanian perlu mempertimbangkan berbagai aspek seperti ekonomi, sosial, dan lingkungan. Hal-hal seperti biaya produksi, ketersediaan bahan baku, serta dampak jangka panjang terhadap lingkungan dan kesehatan manusia harus dievaluasi secara menyeluruh sebelum biochar diadopsi secara luas. Dukungan dari berbagai pihak, termasuk petani, pemerintah, dan organisasi non-pemerintah (NGO), sangat penting untuk mendukung implementasi biochar sebagai bagian dari strategi mengembangkan sistem pertanian yang berkelanjutan (Ajis, 2023).

Meskipun studi tentang biochar semakin berkembang dalam beberapa tahun terakhir, masih sedikit informasi yang diperoleh tentang bagaimana biochar bisa digunakan secara ekonomis dan logistik di lapangan dalam skala besar. Kita perlu memahami dampak biochar terhadap tanah, bagaimana nutrisi terserap atau tercuci, keuntungan bagi lingkungan, serta potensi risiko bagi lingkungan dan kesehatan manusia terkait dengan cara pembuatan dan penggunaannya. Melalui review pustaka semacam ini, kita berharap dapat meningkatkan pemahaman tentang manfaat biochar, khususnya dalam pertanian, disamping membahas tantangan yang mungkin dihadapi dimasa mendatang. Dengan demikian kita dapat membantu petani dan para peneliti untuk memilih dan mengembangkan teknologi biochar yang tepat, mudah dan murah untuk meningkatkan produksi tanaman dan menjaga peran fungsi lingkungan (*environmeantal services*) tanpa mengorbankan hasil pertanian.

Bahan dan Metode

Metode yang digunakan dalam penulisan ini ialah dengan melakukan studi literatur (*desk literature study*) yang dilakukan dengan mengumpulkan data dari berbagai sumber seperti jurnal ilmiah, buku, prosiding seminar dan sejenisnya. Data – data yang diperoleh

kemudian dianalisis secara kualitatif dengan mengkaji dan mengidentifikasi informasi untuk menghasilkan penjelasan dan hasil diskusi yang kritis dan komprehensif mengenai peran biochar terhadap perbaikan kualitas tanah dan lingkungan dalam menghasilkan jasa lingkungan. Hasil studi pustaka ini kemudian disajikan dalam bentuk narasi yang koheren dan sistematis serta kritis.

Hasil dan Pembahasan

Struktur Fisik Biochar

Biochar adalah material padat yang kaya karbon yang dihasilkan dari pirolisis limbah atau biomassa pertanian. Pembakaran tidak sempurna dengan jumlah oksigen yang terbatas dikenal sebagai pirolisis. Sederhananya, biochar dibuat dengan memanaskan biomassa seperti kayu, daun, dan pupuk kandang dalam wadah tertutup dengan udara sedikit atau sama sekali tidak ada. Biochar adalah arang hayati yang mengandung karbon hitam yang berasal dari biomassa. Pembuatan biochar memerlukan pembakaran biomassa pada suhu di bawah suhu 700°C dengan sedikit oksigen. Proses ini menghasilkan bahan organik dengan konsentrasi karbon antara 70 dan 80 persen (Johannes Lehmann & Joseph, 2012 dalam Herlambang *et al.*, 2020)

Penghilangan air melalui dehidrasi selama pirolisis biomassa dan pelepasan komponen volatil dari matriks karbon dapat berkontribusi signifikan dalam pembentukan struktur pori biochar. Menurut International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), pori-pori biochar dapat diklasifikasikan menjadi tiga ukuran: mikropori (kurang dari 2 nm), mesopori (2–50 nm), dan makropori (lebih dari 50 nm) (Khawkomol *et al.*, 2021).

Biochar adalah material berwarna hitam yang sangat berpori, ringan, dan berbutir halus dengan luas permukaan yang besar (Tomczyk *et al.*, 2020). Karakteristik biochar, termasuk aktivitas mikroba, kemampuan mengikat mineral dan nutrisi, serta kapasitas menahan air tanah, ditentukan oleh struktur fisik, ukuran pori, dan luas permukaan dari bahan baku yang digunakan untuk memproduksinya. Sebagai contoh, biochar yang diproduksi dari tempurung kelapa dengan diameter partikel 1,55 mm pada suhu 850 °C dan waktu pembakaran 1,5 jam dalam reaktor lapisan terfluidisasi diketahui memiliki luas permukaan sebesar 1.400 m²/g

(Khawkomol *et al.*, 2021).

Biochar yang dibuat dari biomassa kayu biasanya memiliki kandungan nutrisi lebih rendah, pH lebih rendah, dan karbon yang lebih stabil dibandingkan biochar yang dibuat dari sumber lain seperti pupuk kandang, rumput laut, dan limbah pertanian, yang cenderung memiliki kandungan nutrisi lebih tinggi dan pH lebih tinggi (Rawat *et al.*, 2019).

Pengaruh Biochar Pada Sifat Tanah

Banyak penelitian telah dilakukan tentang penggunaan biochar untuk pembenah tanah baik di Indonesia maupun di seluruh dunia, dan sejumlah temuan telah membuktikan bahwa biochar membantu pertanian terutama dalam memperbaiki kualitas lahan (sifat kimia, fisik dan biologi). Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan biochar dapat meningkatkan kesuburan tanah dan memungkinkan untuk memulihkan kualitas tanah. Charcoal atau biochar dapat ditambahkan ke tanah pertanian untuk berbagai alasan, termasuk: perlakuan biochar dapat meningkatkan pH, hara P, dan hara K, (Yosephine *et al.*, 2021).

Penambahan biochar ke dalam tanah dapat meningkatkan kondisi lingkungan untuk pertumbuhan tanaman dan penyerapan nutrisi dengan memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Peningkatan tersebut meliputi porositas, infiltrasi air, kapasitas menahan air, stabilitas agregat, kepadatan curah, kekerasan tanah, pH, kapasitas pertukaran kation, dan siklus nutrisi (Adekiya *et al.*, 2020). Penambahan biochar secara keseluruhan dapat memperbaiki kemampuan tanah dalam menghasilkan jasa lingkungan dalam sistem pertanian yang berkelanjutan.

Porositas Tanah

Porositas tanah adalah faktor utama yang menentukan kesesuaian tanah untuk berbagai keperluan pertanian dan lingkungan. Porositas yang tinggi dapat meningkatkan retensi air, yang mendukung pertumbuhan tanaman dan kesehatan tanah secara keseluruhan. Biochar diketahui dapat meningkatkan porositas tanah dengan membentuk saluran dan ruang yang memungkinkan aliran udara dan air, sehingga meningkatkan penyerapan nutrisi dan produktivitas tanaman secara keseluruhan.

Kemampuan retensi tanah bisa ditingkatkan dengan memperbaiki strukturnya menggunakan

biochar. Peningkatan penyerapan air dan pH menunjukkan hubungan antara penggunaan biochar dan peningkatan retensi tanah. Biochar dengan ukuran pori yang lebih besar dapat memperbesar pori-pori tanah, sehingga meningkatkan penyerapan air. Semakin besar pori-pori biochar, semakin tinggi retensi tanah (Agviolita *et al.*, 2021). Tanah yang memiliki pori-pori yang baik dapat menyerap dan menahan polutan, sambil juga menyerap karbon dioksida (CO₂) dari atmosfer, selain itu, tanah berpori mendukung berbagai proses biologis yang penting untuk kesehatan ekosistem (Blanco-Canqui, 2017). Melalui meta-analisis yang mencakup 104 data hasil penelitian dari berbagai sumber, menemukan bahwa penggunaan biochar secara umum mengurangi kepadatan curah tanah sebesar 3% hingga 31% dan meningkatkan porositas tanah sebesar 14% hingga 64% (Blanco-Canqui, 2017). Namun, jenis tanah sangat mempengaruhi tingkat porositas tanah."

Kapasitas Menahan Air Tanah

Kapasitas menahan air memiliki peranan krusial dalam pertanian karena secara langsung berdampak pada pertumbuhan tanaman dan keseluruhan produktivitas tanaman. Biochar dapat meningkatkan kapasitas menahan air tanah dengan memperbaiki struktur tanah dan menambah porositas, peningkatan porositas ini menciptakan lebih banyak ruang untuk air, yang memungkinkan tanah menyimpan lebih banyak air, biochar juga menyediakan permukaan tambahan bagi molekul air untuk menempel, yang membantu dalam mempertahankan kelembapan tanah lebih lama. Pori-pori dalam biochar menyediakan jaringan saluran yang dapat menampung dan menyimpan air, sehingga memungkinkan air bergerak lebih mudah di dalam tanah, dengan adanya jaringan pori-pori ini, biochar tidak hanya menahan air lebih efektif, tetapi juga memastikan bahwa air tersebut dapat diakses oleh akar tanaman saat dibutuhkan (Liu *et al.*, 2017).

Banyaknya air yang dapat diserap oleh biochar dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti jenis biochar yang digunakan, kondisi pirolisis selama pembuatan biochar, dan jenis tanah di mana biochar diterapkan. Secara keseluruhan, penggunaan biochar cenderung meningkatkan kapasitas menahan air tanah sekitar 10% hingga 30% (Adekiya *et al.*, 2020).

Biochar yang ditambahkan pada tanah

dengan tekstur berpasir telah terbukti meningkatkan kapasitas menahan air sekitar 20%, membuatnya lebih efisien dalam menahan dan menyimpan air yang akan mendukung pertumbuhan tanaman di lingkungan dengan drainase yang biasanya kurang baik (Li *et al.*, 2021). Menambahkan biochar ke tanah liat telah terbukti meningkatkan kapasitas menahan air sekitar 30% (Liu *et al.*, 2023).

pH tanah

Keseimbangan pH tanah adalah faktor kunci yang memengaruhi kesehatan dan pertumbuhan tanaman. Tanah yang bersifat asam dapat mengakibatkan berbagai dampak negatif bagi pertumbuhan tanaman, termasuk berkurangnya ketersediaan nutrisi, meningkatnya risiko serangan hama dan penyakit, serta pertumbuhan tanaman menjadi terhambat. Penggunaan biochar tidak hanya efektif dalam menaikkan pH tanah tetapi juga dapat diatur dengan dosis yang tepat untuk mencapai kondisi tanah yang lebih optimal bagi pertumbuhan tanaman. Biochar membantu menetralkan keasaman tanah, sehingga meningkatkan ketersediaan nutrisi dan kesehatan tanaman.

Sebelum perlakuan, tanah memiliki pH 5,48 setelah pra-inkubasi selama 7 hari (Aamer *et al.*, 2020). Penerapan biochar meningkatkan pH tanah, di mana dosis biochar yang lebih tinggi (2%) menunjukkan peningkatan pH yang lebih signifikan dibandingkan dengan dosis biochar 1% dan kontrol. Penambahan biochar sebanyak 2% meningkatkan pH tanah dari 5,48 menjadi 6,11.

Kapasitas Pertukaran Kation

Kapasitas pertukaran kation dari biochar adalah faktor kunci yang menentukan kemampuannya untuk memperbaiki tanah. Kapasitas pertukaran kation menggambarkan seberapa baik biochar dapat menarik dan menyimpan ion-ion positif seperti kalsium, magnesium, natrium, dan kalium, yang sangat penting bagi pertumbuhan tanaman (Karimi *et al.*, 2020).

Kapasitas pertukaran kation pada biochar bisa ditingkatkan dengan menggunakan metode pasca produksi seperti ozonisasi atau aktivasi dengan bahan alkali. Metode ozonisasi menggunakan ozon untuk memodifikasi permukaan biochar, sedangkan aktivasi dengan bahan alkali melibatkan penggunaan bahan

kimia basa untuk membuka lebih banyak pori-pori pada biochar, keduanya bertujuan untuk meningkatkan kemampuan biochar dalam menarik dan menahan ion-ion penting bagi tanaman (Sulistyorini *et al.*, 2015).

Penerapan biochar yang terbuat dari kayu pohon mete dan melalui proses pirolisis pada suhu 500 °C sebanyak 30 Mg ha ke tanah lempung berpasir mengakibatkan peningkatan kapasitas pertukaran kation tanah sebesar 65% (Adekiya *et al.*, 2020). Aplikasi biochar dari sekam padi dan serbuk gergaji masing-masing pada tingkat 5 Mg ha menghasilkan peningkatan kapasitas pertukaran kation tanah sebesar 21% dalam kedua kasus tersebut (Ndor *et al.*, 2015).

Mikrobioma

Penambahan biochar mengubah lingkungan tempat tinggal mikroorganisme, mempengaruhi aktivitas metabolisme mereka baik secara langsung maupun tidak langsung, dan mengubah keanekaragaman serta kelimpahan komunitas mikroba tanah. Namun, efektivitas biochar dalam mendukung kinerja mikroba sangat dipengaruhi oleh sifat kimianya (seperti pH dan kandungan nutrisi) dan sifat fisiknya (seperti ukuran dan volume pori serta luas permukaan). Biochar menyediakan habitat yang sesuai bagi mikroorganisme, tetapi cara kerjanya yang memicu aktivitas mikroba sangat kompleks dan dipengaruhi oleh karakteristik biochar itu sendiri serta kondisi tanah tempat biochar digunakan (Palansooriya *et al.*, 2019).

Penggunaan biochar telah terbukti mampu menggandakan jumlah bakteri menguntungkan di tanah, seperti *Bacillus* dan *Pseudomonas*, (Ajema, 2018). Penggunaan biochar terbukti dapat menurunkan jumlah jamur berbahaya seperti *Fusarium* dan *Phytophthora* hingga setengahnya. Menurut sebuah laporan ilmiah yang menganalisis 964 data dari 72 studi yang diterbitkan antara tahun 2007 dan 2020, biochar secara signifikan meningkatkan karbon biomassa mikroba tanah sebesar 21,7%, aktivitas enzim urease sebesar 23,1%, aktivitas enzim fosfatase alkali sebesar 25,4%, dan aktivitas enzim dehidrogenase sebesar 19,8% (Pokharel *et al.*, 2020).

Biochar tidak memberikan dampak negatif yang berarti terhadap aktivitas enzim tanah. Penelitian lain menemukan bahwa penerapan biochar pada dosis 20.000 dan 40.000 kg per hektar secara signifikan mengubah susunan populasi mikroba tanah, dengan perubahan yang

lebih mendukung peningkatan populasi bakteri dibandingkan dengan jamur (J. Chen *et al.*, 2013).

Manfaat Biochar Terhadap Lingkungan

Penyerapan Karbon

Perubahan iklim adalah fenomena yang disebabkan oleh berbagai faktor, terutama oleh aktivitas manusia yang menghasilkan emisi gas rumah kaca. Gas-gas ini, termasuk karbon dioksida (CO₂), terperangkap di atmosfer dan menyebabkan efek rumah kaca, yang pada gilirannya meningkatkan suhu global. Kenaikan suhu ini berdampak luas, termasuk pada lingkungan alami dan sistem sosial-ekonomi manusia. Selain itu, tingginya kadar CO₂ juga berkontribusi pada degradasi tanah, terutama melalui hilangnya karbon organik di dalam tanah, yang sangat penting bagi kesuburan dan struktur tanah. Perubahan iklim adalah ancaman serius bagi lingkungan dan kehidupan manusia. Emisi berlebihan CO₂ dan gas rumah kaca lainnya ke atmosfer telah menyebabkan perubahan signifikan pada iklim global. Kenaikan kadar CO₂ juga terkait dengan berkurangnya karbon di dalam tanah (Chen *et al.*, 2020).

Penelitian Friedlingstein *et al.*, (2023) pada tahun 2022, konsentrasi rata-rata CO₂ di atmosfer global mencapai 417,1 ± 0,1 ppm, untuk data awal tahun 2023 menunjukkan bahwa emisi dari bahan bakar fosil meningkat sekitar 1,1% (dengan kisaran 0,0% hingga 2,1%) dibandingkan tahun sebelumnya, sehingga konsentrasi CO₂ di atmosfer mencapai 419,3 ppm, yang 51% lebih tinggi dari tingkat pra-industri (sekitar 278 ppm pada tahun 1750). Penyerapan karbon adalah proses di mana karbon dioksida (CO₂) atau bentuk karbon lainnya diambil dari atmosfer dan disimpan untuk jangka waktu yang lama. Tujuan utama dari penyerapan karbon adalah untuk mengurangi jumlah CO₂ di atmosfer, yang dapat membantu mengurangi atau menunda efek pemanasan global (Yadav *et al.*, 2017).

Biochar merupakan metode yang menjanjikan untuk penyerapan karbon berkat kemampuannya bertahan stabil di dalam tanah selama ratusan hingga ribuan tahun. Ketahanan biochar di dalam tanah sangat penting untuk memperbaiki dan mempertahankan sifat-sifat tanah yang mendukung produksi tanaman. Setelah biochar ditambahkan ke tanah, ketahanannya menentukan berapa lama biochar

akan mempengaruhi penyerapan karbon dan iklim, serta membantu mitigasi perubahan iklim dan meningkatkan kesuburan tanah (El-Naggar *et al.*, 2019).

Biochar mampu menyerap hingga 0,8 ton karbon per hektar setiap tahun, penyerapan karbon ini tidak hanya membantu mengurangi jumlah karbon di atmosfer, tetapi juga meningkatkan kualitas tanah dengan menyediakan struktur yang lebih baik untuk retensi air dan nutrisi (Lal *et al.*, 2018). Berdasarkan berbagai kajian literatur, kapasitas rata-rata biochar untuk menyerap karbon adalah sekitar 0,7 ton karbon per hektar per tahun, dengan rentang antara 0,1 hingga 2 ton (Majumder *et al.*, 2019).

Penerapan biochar bisa memiliki dampak positif maupun negatif pada penyerapan karbon di tanah. Efek priming positif dapat meningkatkan dekomposisi bahan organik, menyebabkan pelepasan karbon, sementara efek priming negatif dapat membantu dalam penyimpanan karbon secara lebih stabil di tanah (Majumder *et al.*, 2019). Jenis efek priming yang terjadi bergantung pada suhu pirolisis yang digunakan dalam pembuatan biochar. Biochar yang dibuat pada suhu rendah (250°C-400°C) biasanya memicu efek priming positif, sedangkan biochar yang dihasilkan pada suhu tinggi (525°C-650°C) cenderung menghasilkan efek priming negatif (Zimmerman *et al.*, 2011). Dampak penyerapan karbon oleh biochar adalah masalah yang rumit dan dipengaruhi oleh berbagai faktor. Meski begitu, biochar masih dapat dianggap sebagai produk yang mengurangi karbon karena kemampuannya untuk menyerap lebih banyak karbon daripada yang dilepaskannya.

Emisi Nitro Oksida

Saat ini, perubahan iklim akibat polusi udara telah menjadi prioritas utama bagi hampir semua negara di dunia. Dari berbagai polutan udara, emisi nitrogen oksida (NO₂) memainkan peran penting dalam perubahan iklim (Reşitoğlu *et al.*, 2020). Nitrous oxide (N₂O) merupakan gas rumah kaca yang memiliki kemampuan menangkap panas jauh lebih besar dibandingkan dengan CO₂, hingga sekitar 300 kali lipat selama periode 100 tahun. Gas ini terutama dilepaskan melalui praktek-praktek pertanian seperti penggunaan pupuk nitrogen dan penanganan limbah ternak. Biochar bisa membantu mengurangi emisi N₂O dari tanah

pertanian dengan cara meningkatkan pH tanah, mengurangi kepadatan tanah, dan meningkatkan aktivitas mikroba di dalamnya. Penggunaan biochar secara berkelanjutan telah terbukti efektif dalam mengurangi emisi N₂O dari tanah. Berdasarkan penelitian, penggunaan biochar selama 3 tahun dan bahkan setelah 10 tahun telah menunjukkan manfaat jangka panjang dalam mengurangi emisi N₂O (Gao *et al.*, 2023).

Menurut analisis meta-studi yang dilakukan oleh Shakoor *et al.*, (2021), aplikasi biochar secara konsisten menghasilkan penurunan emisi rata-rata sebesar 26% dari nitrogen oksida (N₂O). Biochar dapat memperbaiki proses denitrifikasi di tanah dengan menciptakan kondisi yang mendukung pertumbuhan dan aktivitas bakteri denitrifikasi. Namun, efektivitas biochar dalam mengurangi emisi N₂O bervariasi tergantung pada jenis bahan baku dan suhu pirolisis. Sebagai contoh, biochar yang berasal dari jagung dapat menghasilkan penurunan emisi N₂O yang lebih besar dibandingkan dengan biochar dari kayu putih. Selain itu, biochar yang dipirolisis pada suhu rendah, seperti 350°C, cenderung lebih efektif dalam mengurangi emisi N₂O daripada yang dipirolisis pada suhu yang lebih tinggi, misalnya 550°C (Fungo *et al.*, 2014).

Emisi Metana

Penggunaan biochar sebagai metode untuk mengurangi emisi metana (CH₄) telah menjadi perhatian dalam beberapa tahun terakhir. Biochar terbukti efektif dalam mengurangi emisi CH₄ dari sumber-sumber seperti kotoran ternak, pertanian, dan tempat pembuangan sampah. Mekanisme di balik pengurangan ini melibatkan penyerapan CH₄ oleh biochar, diikuti oleh oksidasi mikroba. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa penerapan biochar dari jenis kayu cemara pada tingkat tertentu selama periode waktu tertentu dapat mengurangi emisi CH₄ hingga 43% (Kalu *et al.*, 2022).

Sebuah studi literatur yang melibatkan 43 studi ilmiah juga menemukan bahwa penerapan biochar telah menghasilkan penurunan yang signifikan, dengan rata-rata 37,9% dalam emisi metana (CH₄) di wilayah sawah Asia Timur (Lee *et al.*, 2023). Biochar yang berasal dari jerami padi dilaporkan efektif dalam mengurangi emisi metana (CH₄) dari lahan pertanian padi pada kondisi suhu tinggi dan tingkat konsentrasi karbon dioksida (CO₂) yang

tinggi (Han *et al.*, 2016).

Biochar telah terbukti memiliki potensi besar dalam mengatasi masalah lingkungan global di lahan sawah dan meningkatkan hasil panen padi. Karena itu, penggunaannya dianggap sebagai strategi yang ramah lingkungan, ekonomis, dan layak untuk memperbaiki kondisi sawah. Jenis biomassa yang digunakan, suhu pirolisis, dan metode modifikasi adalah faktor penting yang mempengaruhi kinerja biochar. Penerapan biochar atau biochar yang dimodifikasi dengan karakteristik kinerja yang berbeda dapat meningkatkan hasil panen padi dan mengurangi emisi gas rumah kaca (seperti CO₂, N₂O, dan CH₄) dengan memperbaiki sifat fisikokimia tanah, meningkatkan aktivitas mikroba, menyediakan nutrisi, dan mengurangi erosi tanah (Chen *et al.*, 2023).

Kesimpulan

Biochar dapat digunakan sebagai solusi potensial untuk meningkatkan kondisi tanah karena kemampuannya dalam memperbaiki retensi nutrisi, kapasitas air tanah, dan menyerap karbon. Manfaatnya yang beragam, seperti pada pertanian berkelanjutan dan mitigasi perubahan iklim, telah disoroti. Namun, efek biochar bisa bervariasi tergantung pada berbagai faktor seperti jenis bahan baku, cara produksi, tingkat aplikasi, dan kondisi tanah. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan lebih lanjut untuk memaksimalkan manfaat dan meminimalkan risiko negatifnya.

Sebagian besar penelitian menunjukkan efek positifnya pada tanah dan hasil panen, tetapi penting juga untuk memperhatikan strategi aplikasi yang sesuai. Penggunaan berlebihan atau pilihan bahan baku yang tidak tepat dapat menyebabkan masalah seperti ketidakseimbangan nutrisi dan perubahan pH tanah. Pengaruh perubahan yang terjadi pada sifat tanah akibat penambahan biochar, dapat menghasilkan perbaikan terhadap kualitas jasa lingkungan (*environmental services*).

Penelitian masa depan penting untuk diarahkan pada peningkatan teknologi produksi, optimalisasi aplikasi di berbagai kondisi tanah, dan evaluasi dampak jangka panjangnya terhadap kesehatan tanah dan keberlanjutan ekosistem. Evaluasi siklus hidup secara menyeluruh juga diperlukan untuk memahami dampaknya terhadap jasa lingkungan dan

ekonomi dari penggunaan biochar secara besar-besaran.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Prof. Ir. Suwardji, M.App.,Sc.,Ph.D yang telah memberikan arahan serta masukan kepada penulis sehingga penulisan artikel ini dapat terselesaikan.

Referensi

- Aamer, M., Shaaban, M., Hassan, M. U., Guoqin, H., Ying, L., Hai Ying, T., Rasul, F., Qiaoying, M., Zhuanling, L., Rasheed, A., & Peng, Z. (2020). Biochar mitigates the N₂O emissions from acidic soil by increasing the nosZ and nirK gene abundance and soil pH. *Journal of Environmental Management*, 255(August 2019), 109891. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.10.9891>
- Adekiya, A. O., Agbede, T. M., Olayanju, A., Ejue, W. S., Adekanye, T. A., Adenusi, T. T., & Ayeni, J. F. (2020). Effect of Biochar on Soil Properties, Soil Loss, and Cocoyam Yield on a Tropical Sandy Loam Alfisol. *Scientific World Journal*. <https://doi.org/10.1155/2020/9391630>
- Agviolita, P., Yushardi, Y., & Anggraeni, F. K. A. (2021). Pengaruh Perbedaan Biochar terhadap Kemampuan Menjaga Retensi pada Tanah. *Jurnal Fisika Unand*, 10(2), 267–273. <https://doi.org/10.25077/jfu.10.2.267-273.2021>
- Ajema, L. (2018). Effects of Biochar Application on Beneficial Soil Organism Review. *Acad. Res. J. Agri. Sci. Res*, 6(3), 9–18. <https://doi.org/10.14662/ARJASR2018.007>
- Ajis, H. (2023). *Biochar sebagai Solusi Berkelanjutan untuk Peningkatan Kesuburan Tanah*. Mertani. <https://www.mertani.co.id/post/biochar-sebagai-solusi-berkelanjutan-untuk-peningkatan-kesuburan-tanah>
- Alkharabsheh, H. M., Seleiman, M. F., Battaglia, M. L., Shami, A., Jalal, R. S., Alhammad, B. A., Almutairi, K. F., & Al-Saif, A. M. (2021). Biochar and its broad

- impacts in soil quality and fertility, nutrient leaching and crop productivity: A review. *Agronomy*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/agronomy11050993>
- Arif, M., Ali, S., Ilyas, M., Riaz, M., Akhtar, K., Ali, K., Adnan, M., Fahad, S., Khan, I., Shah, S., & Wang, H. (2021). Enhancing phosphorus availability, soil organic carbon, maize productivity and farm profitability through biochar and organic–inorganic fertilizers in an irrigated maize agroecosystem under semi-arid climate. *Soil Use and Management*, 37(1), 104–119. <https://doi.org/10.1111/sum.12661>
- Ayaz, M., Feizienė, D., Tilvikienė, V., Akhtar, K., Stulpinaitė, U., & Iqbal, R. (2021). Biochar role in the sustainability of agriculture and environment. *Sustainability (Switzerland)*, 13(3), 1–22. <https://doi.org/10.3390/su13031330>
- 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>
- Chen, J., Elsgaard, L., van Groenigen, K. J., Olesen, J. E., Liang, Z., Jiang, Y., Lærke, P. E., Zhang, Y., Luo, Y., Hungate, B. A., Sinsabaugh, R. L., & Jørgensen, U. (2020). Soil carbon loss with warming: New evidence from carbon-degrading enzymes. *Global Change Biology*, 26(4), 1944–1952. <https://doi.org/10.1111/gcb.14986>
- Chen, J., Liu, X., Zheng, J., Zhang, B., Lu, H., Chi, Z., Pan, G., Li, L., Zheng, J., Zhang, X., Wang, J., & Yu, X. (2013). Biochar soil amendment increased bacterial but decreased fungal gene abundance with shifts in community structure in a slightly acid rice paddy from Southwest China. *Applied Soil Ecology*, 71, 33–44. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.05.003>
- Chen, Y., Xu, M., Yang, L., Jing, H., Mao, W., Liu, J., Zou, Y., Wu, Y., Zhou, H., Yang, W., & Wu, P. (2023). A Critical Review of Biochar Application for the Remediation of Greenhouse Gas Emissions and Nutrient Loss in Rice Paddies: Characteristics, Mechanisms, and Future Recommendations. *Agronomy*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/agronomy13030893>
- Diatta, A. A., Fike, J. H., Battaglia, M. L., Galbraith, J. M., & Baig, M. B. (2020). Effects of biochar on soil fertility and crop productivity in arid regions: a review. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(14). <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05586-2>
- El-Naggar, A., El-Naggar, A. H., Shaheen, S. M., Sarkar, B., Chang, S. X., Tsang, D. C. W., Rinklebe, J., & Ok, Y. S. (2019). Biochar composition-dependent impacts on soil nutrient release, carbon mineralization, and potential environmental risk: A review. *Journal of Environmental Management*, 241(September 2018), 458–467. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.044>
- Evizal, R., & Prasmatiwi, F. E. (2023). Biochar: Pemanfaatan dan Aplikasi Praktis. *Jurnal Agrotropika*, 22(1), 1. <https://doi.org/10.23960/ja.v22i1.7151>
- Friedlingstein, P., Sullivan, M. O., Jones, M. W., Andrew, R. M., Bakker, D. C. E., Hauck, J., Landschützer, P., Quéré, C. Le, & Luijkx, I. T. (2023). *Global Carbon Budget 2023*. 5301–5369.
- Fungo, B., Guereña, D., Thiongo, M., Lehmann, J., Neufeldt, H., & Kalbi. (2014). N₂O and CH₄ emission from soil amended with steam-activated biochar. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177(1), 34–38. <https://doi.org/10.1002/jpln.201300495>
- Gao, S., Peng, Q., Liu, X., & Xu, C. (2023). The Effect of Biochar and Straw Return on N₂O Emissions and Crop Yield: A Three-Year Field Experiment. *Agriculture (Switzerland)*, 13(11), 1–17. <https://doi.org/10.3390/agriculture13112091>
- Han, X., Sun, X., Wang, C., Wu, M., Dong, D., Zhong, T., Thies, J. E., & Wu, W. (2016). Mitigating methane emission from paddy soil with rice-straw biochar amendment under projected climate change. *Scientific Reports*, 6(April), 1–10. <https://doi.org/10.1038/srep24731>
- Herlambang, S., Santoso, A. Z., Gomareuzzaman, M., & Wibowo, A. W. A. (2020). *Biochar salah satu alternatif untuk perbaikan lahan dan lingkungan*. <http://eprints.upnyk.ac.id/28261/%0Ahttp>

- //eprints.upnyk.ac.id/28261/1/Buku_Ajar_Biochar_susila_herlambang.pdf
- Javed, M. A., Khan, M. N., Ali, B., Wahab, S., Din, I. U., & Razak, S. A. (2023). *Positive and Negative Impacts of Biochar on Microbial Diversity*. *April*, 311–330. https://doi.org/10.1007/978-3-031-26983-7_14
- Kalu, S., Kulmala, L., Zrim, J., Peltokangas, K., Tammeorg, P., Rasa, K., Kitzler, B., Pihlatie, M., & Karhu, K. (2022). Potential of Biochar to Reduce Greenhouse Gas Emissions and Increase Nitrogen Use Efficiency in Boreal Arable Soils in the Long-Term. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.914766>
- Karimi, A., Moezzi, A., Chorom, M., & Enayatizamir, N. (2020). Application of Biochar Changed the Status of Nutrients and Biological Activity in a Calcareous Soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(2), 450–459. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00129-5>
- Khawkomol, S., Neamchan, R., Thongsamer, T., Vinitnantharat, S., Panpradit, B., Sohsalam, P., Werner, D., & Mrozik, W. (2021). Potential of biochar derived from agricultural residues for sustainable management. *Sustainability (Switzerland)*, 13(15). <https://doi.org/10.3390/su13158147>
- Lal, R., Smith, P., Jungkunst, H. F., Mitsch, W. J., Lehmann, J., Ramachandran Nair, P. K., McBratney, A. B., De Moraes Sá, J. C., Schneider, J., Zinn, Y. L., Skorupa, A. L. A., Zhang, H. L., Minasny, B., Srinivasrao, C., & Ravindranath, N. H. (2018). The carbon sequestration potential of terrestrial ecosystems. *Journal of Soil and Water Conservation*, 73(6), 145A–152A. <https://doi.org/10.2489/jswc.73.6.145A>
- Lee, J. M., Jeong, H. C., Gwon, H. S., Lee, H. S., Park, H. R., Kim, G. S., Park, D. G., & Lee, S. II. (2023). Effects of Biochar on Methane Emissions and Crop Yields in East Asian Paddy Fields: A Regional Scale Meta-Analysis. *Sustainability (Switzerland)*, 15(12), 19–21. <https://doi.org/10.3390/su15129200>
- 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 (Switzerland)*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/w13040407>
- Liu, D., Sun, W., Kong, Y., & Zhang, S. (2023). Effect of Dry and Wet Cycles on the Strength Characteristics of Biochar–Clay Mixture. *Processes*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/pr11030970>
- 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>
- Majumder, S., Neogi, S., Dutta, T., Powel, M. A., & Banik, P. (2019). The impact of biochar on soil carbon sequestration: Meta-analytical approach to evaluating environmental and economic advantages. *Journal of Environmental Management*, 250(November 2018). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.10.9466>
- Mamat, H. S., & Sukarman, S. (2020). Manfaat Inovasi Teknologi Sumberdaya Lahan Pertanian Dalam Mendukung Pembangunan Pertanian. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 14(2), 115. <https://doi.org/10.21082/jsdl.v14n2.2020.115-132>
- Ndor, E., Jayeoba, O., & Asadu, C. (2015). Effect of Biochar Soil Amendment on Soil Properties and Yield of Sesame Varieties in Lafia, Nigeria. *American Journal of Experimental Agriculture*, 9(4), 1–8. <https://doi.org/10.9734/ajea/2015/19637>
- Palansooriya, K. N., Wong, J. T. F., Hashimoto, Y., Huang, L., Rinklebe, J., Chang, S. X., Bolan, N., Wang, H., & Ok, Y. S. (2019). Response of microbial communities to biochar-amended soils: a critical review. *Biochar*, 1(1), 3–22. <https://doi.org/10.1007/s42773-019-00009-2>
- Pokharel, P., Ma, Z., & Chang, S. X. (2020). Biochar increases soil microbial biomass with changes in extra- and intracellular enzyme activities: a global meta-analysis. *Biochar*, 2(1), 65–79. <https://doi.org/10.1007/s42773-020-00039-1>

- Raj, A., Karol, A., Shaji, A., Pandey, R., & Gupta, H. (2023). Biochar: A Comprehensive Overview of Its Role in Soil Health. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(10), 1621–1628. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i102817>
- Rawat, J., Saxena, J., & Sanwal, P. (2019). Biochar: A Sustainable Approach for Improving Plant Growth and Soil Properties. *Biochar - An Imperative Amendment for Soil and the Environment*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.82151>
- Reşitoğlu, İ. A., Simões, A., Koten, H., Kumar, N., Pali, H. S., Sonthalia, A., Bansal, S., Tran, T. A., Viskup, R., Wolf, C., Baumgartner, W., Monemian, E., & Alasdair Cairns, Selçuk Sarıkoç, Aniket Kulkarni, D. D. (2020). Diesel and Gasoline Engines Edited. In *Diesel and Gasoline Engines*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.90527>
- Shakoor, A., Shahzad, S. M., Chatterjee, N., Arif, M. S., Farooq, T. H., Altaf, M. M., Tufail, M. A., Dar, A. A., & Mehmood, T. (2021). Nitrous oxide emission from agricultural soils: Application of animal manure or biochar? A global meta-analysis. *Journal of Environmental Management*, 285(January), 112170. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112170>
- Sulistiyorini, L. D., Lutfi, M., & Sutan, S. M. (2015). Pemanfaatan Kulit Siwalan (*Borassus Flabellifer*) Sebagai Biochar dengan Pengaruh Konsentrasi dan Lama Perendaman HCl pada proses aktivasi. *Jurnal Bioproses Komoditas Tropis*, 3(2), 74–80.
- Tomczyk, A., Sokołowska, Z., & Boguta, P. (2020). Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 19(1), 191–215. <https://doi.org/10.1007/s11157-020-09523-3>
- Wang, D., Jiang, P., Zhang, H., & Yuan, W. (2020). Biochar production and applications in agro and forestry systems: A review. *Science of the Total Environment*, 723, 137775. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137775>
- Yadav, R. K., Parihar, C. M., Bajiya, R., Yadav, D. K., Yadav, B., Yadav, M. R., Kumar, R., Kumar, R., Yadav, N., & R.K. Meena, H. R. (2017). Role of Biochar in Mitigation of Climate Change through Carbon Sequestration. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(4), 859–866. <https://doi.org/10.20546/ijcm.2017.604107>
- Yosephine, I. O., Gunawan, H., & Kurniawan, R. (2021). Pengaruh Pemakaian Jenis Biochar pada Sifat Kimia Tanah P dan K terhadap Perkembangan Vegetatif Tanaman Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) pada Media Tanam Ultisol. *Agroteknika*, 4(1), 1–10. <https://doi.org/10.32530/agroteknika.v4i1.74>
- Zimmerman, A. R., Gao, B., & Ahn, M. Y. (2011). Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar-amended soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(6), 1169–1179. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.02.005>