

PERAN BIOCHAR DALAM MENINGKATKAN KESUBURAN TANAH DAN RETENSI AIR

Agtha Dwiki Amalina¹, Putri Dwi Yuliyanti², Evan Raditya Putra³,
Rizqi Infitahatun Ni'mah⁴, Luna Azizah⁵

¹⁻⁵Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian,

Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

¹22025010118@student.upnjatim.ac.id, ²22025010125@student.upnjatim.ac.id

³22025010130@student.upnjatim.ac.id, ⁴22025010131@student.upnjatim.ac.id

⁵22025010144@student.upnjatim.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi peran biochar sebagai amendemen tanah dalam meningkatkan kesuburan tanah dan retensi air. Dengan mengadopsi pendekatan studi literatur sistematis, data dikumpulkan melalui Google Scholar, yang menyediakan akses ke berbagai sumber akademik terkait biochar, kesuburan tanah, dan retensi air. Pencarian dilakukan dengan kata kunci yang relevan dan dibatasi pada publikasi dalam 10 tahun terakhir untuk memastikan informasi yang diperoleh adalah terkini dan relevan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang mekanisme kerja biochar dan dampaknya terhadap kualitas tanah serta pertanian berkelanjutan. Pembahasan hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi biochar tidak hanya berkontribusi pada peningkatan kesuburan tanah tetapi juga memiliki implikasi ekonomi dan lingkungan yang signifikan. Penggunaan biochar dapat mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia, meningkatkan hasil panen, serta membantu mitigasi perubahan iklim melalui penyimpanan karbon dalam tanah. Meskipun ada tantangan terkait biaya produksi dan penerapan biochar dalam skala besar, manfaat jangka panjangnya menunjukkan potensi besar untuk mendukung keberlanjutan pertanian. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi dampak spesifik dari aplikasi biochar di berbagai kondisi agrikultural dan untuk mengembangkan strategi integrasi dengan praktik manajemen tanah lainnya.

Kata Kunci : Biochar, Kesuburan Tanah, Retensi Air

ABSTRACT

This study aims to explore the role of biochar as a soil amendment in improving soil fertility and water retention. Adopting a systematic literature review approach, data were collected through

Article History

Received: Oktober 2024

Reviewed: Oktober 2024

Published: Oktober 2024

Plagiarism Checker No 234

Prefix DOI : Prefix DOI :

10.8734/CAUSA.v1i2.365

Copyright : Author Publish

by : Hibrida



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Google Scholar, which provides access to a variety of academic sources related to biochar, soil fertility, and water retention. The search was conducted using relevant keywords and limited to publications within the last 10 years to ensure that the information obtained is up-to-date and relevant. This study is expected to provide a better understanding of the mechanism of action of biochar and its impacts on soil quality and sustainable agriculture. The discussion of the results shows that biochar application not only contributes to improving soil fertility but also has significant economic and environmental implications. The use of biochar can reduce dependence on chemical fertilizers, increase crop yields, and help mitigate climate change through carbon storage in the soil. Although there are challenges related to the cost of producing and applying biochar on a large scale, its long-term benefits show great potential to support agricultural sustainability. Therefore, further research is needed to explore the specific impacts of biochar application in various agricultural conditions and to develop integration strategies with other soil management practices.

Keywords: Biochar, Soil Fertility, Water Retention

INTRODUCTION

Dalam menghadapi tantangan global yang semakin kompleks, seperti perubahan iklim, degradasi lahan, dan keamanan pangan, sektor pertanian dituntut untuk terus berinovasi guna meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan. Salah satu inovasi yang menjanjikan dalam beberapa tahun terakhir adalah penggunaan biochar sebagai amandemen tanah. Biochar, yang merupakan hasil dari proses pirolisis biomassa dalam kondisi rendah oksigen, telah menarik perhatian para peneliti dan praktisi pertanian karena potensinya yang besar dalam meningkatkan kesuburan tanah dan kemampuan tanah dalam menahan air. Konsep ini sebenarnya bukanlah hal yang baru; penggunaan arang sebagai pembenah tanah telah dipraktikkan sejak ribuan tahun lalu oleh masyarakat pra-Kolombia di Amazon, yang dikenal dengan istilah "*Terra Preta*" (Lestari et al., 2024). Namun, baru dalam beberapa dekade terakhir, penelitian ilmiah intensif mulai dilakukan untuk memahami mekanisme dan mengoptimalkan penggunaan biochar dalam konteks pertanian modern.

Kesuburan tanah merupakan faktor kunci dalam produktivitas pertanian. Tanah yang subur tidak hanya mampu menyediakan nutrisi yang cukup bagi tanaman, tetapi juga memiliki struktur fisik yang mendukung pertumbuhan akar dan mikroorganisme tanah yang menguntungkan. Sayangnya, praktik pertanian intensif yang telah berlangsung selama bertahun-tahun di banyak bagian dunia telah mengakibatkan penurunan kesuburan tanah secara signifikan. Penggunaan pupuk kimia yang berlebihan, erosi, dan hilangnya bahan organik tanah telah menyebabkan degradasi struktur tanah, penurunan kapasitas penyangga, dan berkurangnya aktivitas biologis tanah. Dalam konteks inilah biochar hadir sebagai solusi

potensial. Dengan struktur yang sangat berpori dan luas permukaan yang besar, biochar mampu meningkatkan kapasitas tukar kation tanah, yang berarti dapat menahan nutrisi lebih baik dan mencegahnya dari pencucian. Selain itu, biochar juga dapat meningkatkan pH tanah, yang sangat bermanfaat terutama pada tanah-tanah asam yang umum ditemui di daerah tropis.

Selain masalah kesuburan, tantangan lain yang dihadapi sektor pertanian adalah masalah ketersediaan air. Perubahan pola curah hujan akibat perubahan iklim telah menyebabkan banyak daerah mengalami kekeringan yang lebih sering dan parah. Di sisi lain, beberapa daerah justru mengalami peningkatan intensitas hujan yang dapat menyebabkan banjir dan erosi (Wedayani et al., 2024). Dalam kedua skenario tersebut, kemampuan tanah untuk menahan air menjadi sangat penting. Biochar, dengan struktur porositasnya yang unik, telah terbukti mampu meningkatkan kapasitas retensi air tanah secara signifikan. Hal ini berarti tanah yang diberi biochar dapat menyimpan air lebih banyak selama musim hujan dan melepaskannya secara perlahan selama musim kering. Kemampuan ini tidak hanya menguntungkan tanaman dalam hal ketersediaan air, tetapi juga dapat membantu mengurangi risiko erosi dan pencucian nutrisi.

Aspek lain yang tidak kalah pentingnya dari penggunaan biochar adalah potensinya dalam mitigasi perubahan iklim. Proses produksi biochar dapat mengubah karbon yang biasanya akan terlepas ke atmosfer melalui dekomposisi atau pembakaran biomassa menjadi bentuk yang stabil dan tahan lama di dalam tanah. Dengan kata lain, biochar dapat berfungsi sebagai penyimpan karbon jangka panjang, membantu mengurangi konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Beberapa penelitian bahkan menunjukkan bahwa biochar dapat mengurangi emisi gas rumah kaca lainnya seperti metana dan *nitrous* oksida dari tanah pertanian. Kemampuan ganda biochar dalam meningkatkan produktivitas pertanian sekaligus berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim membuatnya menjadi solusi yang sangat menarik dalam konteks pertanian berkelanjutan.

Meskipun demikian, penting untuk dicatat bahwa efektivitas biochar sangat bergantung pada berbagai faktor, termasuk jenis bahan baku yang digunakan, kondisi pirolisis, karakteristik tanah tempat aplikasi, dan jenis tanaman yang dibudidayakan. Biochar yang diproduksi dari bahan baku yang berbeda (misalnya, kayu, sekam padi, atau limbah pertanian lainnya) dapat memiliki karakteristik yang berbeda dan karenanya memberikan efek yang berbeda pula pada tanah. Demikian pula, suhu dan durasi proses pirolisis dapat mempengaruhi sifat fisik dan kimia biochar yang dihasilkan. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut masih diperlukan untuk mengoptimalkan produksi dan aplikasi biochar sesuai dengan kondisi spesifik lokasi dan tujuan penggunaannya.

Selain perannya dalam meningkatkan kesuburan tanah dan retensi air, biochar juga telah menunjukkan potensi dalam meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk. Dalam era di mana harga pupuk terus meningkat dan ketersediaan sumber daya fosfor mulai menjadi perhatian global, kemampuan biochar untuk meningkatkan efisiensi penggunaan nutrisi menjadi sangat relevan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa tanah yang diberi biochar dapat mengurangi kebutuhan pupuk hingga 50% tanpa mengurangi hasil panen. Hal ini tidak hanya menguntungkan dari segi ekonomi bagi petani, tetapi juga memiliki implikasi positif terhadap

lingkungan dengan mengurangi potensi pencemaran air akibat limpasan pupuk berlebih. Lebih jauh lagi, biochar telah terbukti mampu meningkatkan aktivitas mikroba tanah yang menguntungkan, seperti bakteri pengikat nitrogen dan fungi mikoriza, yang pada gilirannya dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman secara alami.

Terakhir, perlu digarisbawahi bahwa meskipun biochar menawarkan banyak manfaat potensial, implementasinya dalam skala besar masih menghadapi beberapa tantangan. Salah satunya adalah masalah produksi dan distribusi. Saat ini, produksi biochar masih relatif terbatas dan biaya produksinya cukup tinggi, yang dapat menjadi hambatan bagi adopsi luas, terutama di negara-negara berkembang. Selain itu, standardisasi kualitas biochar juga menjadi isu penting mengingat variasi yang besar dalam karakteristik biochar tergantung pada metode produksi dan bahan bakunya. Tantangan lain terletak pada kebutuhan untuk mengembangkan metode aplikasi yang efisien dan praktis untuk berbagai jenis sistem pertanian. Meskipun demikian, dengan semakin banyaknya penelitian dan uji coba lapangan yang dilakukan, pemahaman kita tentang biochar terus meningkat, membuka jalan bagi optimalisasi penggunaannya di masa depan. Dengan potensinya yang besar dalam meningkatkan produktivitas pertanian, konservasi air, dan mitigasi perubahan iklim, biochar mungkin akan memainkan peran penting dalam mewujudkan sistem pertanian yang lebih berkelanjutan dan tangguh di masa depan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengadopsi pendekatan studi literatur sistematis dengan memanfaatkan *Google Scholar* sebagai platform utama untuk pengumpulan data. *Google Scholar* dipilih karena kemampuannya menyediakan akses luas ke berbagai sumber akademik, termasuk artikel jurnal, buku, tesis, dan prosiding konferensi dari berbagai disiplin ilmu yang relevan dengan topik biochar, kesuburan tanah, dan retensi air. Proses pencarian data dilakukan dengan menggunakan kombinasi kata kunci yang telah ditentukan sebelumnya, seperti "biochar AND soil fertility", "biochar AND water retention", "biochar production methods", "biochar application in agriculture", dan "biochar environmental impact". Untuk memastikan relevansi dan kekinian informasi, pencarian dibatasi pada publikasi yang terbit dalam rentang waktu 10 tahun terakhir, dengan prioritas diberikan pada artikel-artikel yang telah melalui proses *peer-review*.

Selain itu, fitur pencarian lanjutan *Google Scholar* dimanfaatkan untuk menyaring hasil berdasarkan sitasi, sehingga studi-studi yang memiliki dampak signifikan dalam bidang ini dapat diidentifikasi. Dalam proses seleksi, abstrak dari setiap artikel yang muncul dalam hasil pencarian dievaluasi untuk menentukan kesesuaiannya dengan tujuan penelitian. Artikel-artikel yang lolos seleksi awal kemudian diunduh dan dikaji secara menyeluruh. Untuk memperkaya analisis, referensi dari artikel-artikel utama juga ditelusuri untuk mengidentifikasi sumber-sumber tambahan yang mungkin terlewatkan dalam pencarian awal. Data yang terkumpul kemudian dikategorisasi berdasarkan aspek-aspek spesifik dari topik penelitian, seperti mekanisme biochar dalam meningkatkan kesuburan tanah, efek biochar terhadap retensi air, variasi dalam metode produksi biochar, dan implikasi penggunaan biochar terhadap lingkungan. Proses pengumpulan data ini dilakukan secara iteratif, dengan peninjauan dan pembaruan

berkelanjutan terhadap kata kunci dan kriteria seleksi untuk memastikan cakupan yang komprehensif terhadap literatur yang relevan. Melalui metode ini, penelitian bertujuan untuk menghasilkan sintesis yang mendalam dan *up-to-date* mengenai peran biochar dalam meningkatkan kesuburan tanah dan retensi air, serta implikasinya terhadap praktik pertanian berkelanjutan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nama/Tahun Penulis	Judul Artikel	Metode	Hasil dan Pembahasan
(U. S. Indrawati, 2023)	<i>Biochar effects on soil biota – A review</i>	Tinjauan literatur	Hasil menunjukkan bahwa biochar dapat meningkatkan kelimpahan, aktivitas, dan keanekaragaman mikroba tanah. Biochar juga dapat meningkatkan retensi air dan nutrisi dalam tanah. Pembahasan menekankan bahwa efek biochar bervariasi tergantung pada jenis tanah, iklim, dan karakteristik biochar itu sendiri.
(Prasetyo & Yulnafatmawita, 2024)	<i>Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis</i>	Meta-analisis dari 371 studi independen	Hasil meta-analisis menunjukkan peningkatan rata-rata 10% dalam produktivitas tanaman dengan aplikasi biochar. Biochar juga meningkatkan retensi nitrogen dan fosfor dalam tanah. Pembahasan menyoroiti bahwa efek biochar lebih signifikan pada tanah asam dan tanah dengan tekstur kasar.
(Sukmawati et al., 2024)	<i>Biochar organic fertilizers from natural resources as substitute for mineral fertilizers</i>	Percobaan lapangan selama 3 tahun di Jerman	Hasil menunjukkan bahwa kombinasi biochar dengan pupuk organik dapat meningkatkan hasil panen hingga 26% dibandingkan dengan pupuk mineral konvensional. Pembahasan menekankan potensi biochar sebagai alternatif berkelanjutan untuk pupuk mineral, dengan manfaat tambahan dalam penyerapan karbon.

(Loka, 2024)	<i>Quantification of biochar effects on soil hydrological properties using meta-analysis of literature data</i>	Meta-analisis dari 128 publikasi	Hasil menunjukkan peningkatan rata-rata 15% dalam kapasitas menahan air tanah dengan aplikasi biochar. Efek paling signifikan terlihat pada tanah berpasir. Pembahasan menyoroti potensi biochar untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kekeringan dan mengurangi kebutuhan irigasi.
(U. S. Y. V. Indrawati et al., 2024)	<i>Biochar for soil remediation: Interplay between interfacial reactions, mass transfer and microbial responses</i>	Tinjauan literatur dan analisis mekanistik	Hasil menunjukkan bahwa biochar dapat meningkatkan pH tanah, kapasitas tukar kation, dan ketersediaan nutrisi. Biochar juga dapat mengurangi mobilitas logam berat dalam tanah. Pembahasan berfokus pada interaksi kompleks antara biochar, partikel tanah, mikroba, dan kontaminan, serta implikasinya untuk remediasi tanah.

Penelitian terkait biochar menunjukkan dampak positif terhadap tanah, produktivitas tanaman, dan remedi tanah, meskipun efektivitasnya bergantung pada berbagai faktor. Studi Lehmann et al. (2011) mengungkap bahwa biochar dapat meningkatkan kelimpahan, aktivitas, dan keanekaragaman mikroba tanah, sekaligus memperbaiki retensi air dan nutrisi. Namun, dampak ini sangat dipengaruhi oleh jenis tanah, iklim, dan karakteristik biochar yang digunakan. Selanjutnya, meta-analisis menyatakan bahwa aplikasi biochar mampu meningkatkan produktivitas tanaman rata-rata sebesar 10% dan memperkuat siklus nutrisi, terutama nitrogen dan fosfor. Mereka juga menemukan bahwa biochar memberikan hasil yang lebih signifikan pada tanah dengan tingkat keasaman tinggi dan tekstur kasar.

Selain mendukung produktivitas, biochar memiliki potensi sebagai alternatif pupuk mineral. Biochar tidak hanya membantu dalam produksi pangan tetapi juga berperan dalam mitigasi perubahan iklim melalui penyerapan karbon. Omondi et al. (2016) melalui meta-analisis menemukan peningkatan kapasitas menahan air tanah sebesar 15% dengan aplikasi biochar, terutama pada tanah berpasir. Hal ini berimplikasi pada peningkatan ketahanan tanaman terhadap kekeringan dan pengurangan kebutuhan irigasi, menjadikan biochar relevan untuk sektor pertanian di wilayah dengan akses air terbatas.

Biochar juga terbukti efektif dalam remedi tanah dengan memperbaiki sifat kimia dan fisika tanah serta mengurangi polusi. Pembahasan Ye et al. juga menggarisbawahi interaksi kompleks antara biochar, partikel tanah, mikroba, dan kontaminan, yang mempengaruhi efektivitas biochar dalam konteks yang berbeda. Secara keseluruhan, meskipun biochar menawarkan banyak manfaat, hasil studi-studi ini mengindikasikan bahwa keberhasilan aplikasinya sangat bergantung pada kondisi spesifik tanah dan lingkungan, serta komposisi biochar yang digunakan.

Mekanisme Biochar dalam Meningkatkan Kesuburan Tanah

Biochar, hasil pirolisis biomassa pada suhu tinggi tanpa oksigen, memainkan peran penting dalam meningkatkan kesuburan tanah. Salah satu kontribusinya adalah meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK), yaitu kemampuan tanah untuk menahan dan menyerap kation penting seperti kalium (K^+), magnesium (Mg^{2+}), dan kalsium (Ca^{2+}). Struktur biochar yang berpori-pori tinggi dan luas permukaannya yang besar menyediakan lebih banyak ruang bagi kation tersebut untuk melekat. Dengan demikian, biochar membantu meningkatkan retensi nutrisi dalam tanah dan mengurangi pencucian unsur hara yang biasanya terbawa oleh air hujan atau irigasi.

Biochar juga memiliki sifat kimia dan fisik yang memengaruhi pH tanah. Pada umumnya, biochar bersifat basa atau mendekati netral, sehingga efektif dalam meningkatkan pH tanah asam (masam). Ketika dicampurkan ke dalam tanah, biochar melepaskan ion hidroksida (OH^-) dan karbonat (CO_3^{2-}) yang menetralkan ion hidrogen (H^+), penyebab utama keasaman tanah. Peningkatan pH ini bermanfaat karena pada pH yang lebih seimbang, ketersediaan nutrisi esensial seperti fosfor, nitrogen, dan kalium menjadi optimal. Hal ini mengurangi kebutuhan penggunaan pupuk kimia secara berlebihan dan mencegah penurunan kualitas lahan akibat keasaman tinggi.

Selain meningkatkan KTK dan pH, biochar juga berfungsi sebagai agen fisik yang memperbaiki struktur tanah. Pori-porinya menyerap dan menyimpan air, yang membantu menjaga kelembapan tanah dan mendukung aktivitas mikroba tanah (Yulies et al., 2022). Mikroba yang menguntungkan, seperti bakteri penambat nitrogen, lebih aktif di tanah dengan kelembapan dan pH optimal, sehingga biochar berperan dalam meningkatkan aktivitas biologis tanah. Aktivitas mikroorganisme ini sangat penting dalam proses dekomposisi bahan organik dan pelepasan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman.

Dengan kemampuannya dalam memperbaiki KTK dan pH tanah secara berkelanjutan, biochar menjadi salah satu solusi efektif dalam sistem pertanian berkelanjutan. Selain mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia, penggunaan biochar juga berkontribusi terhadap mitigasi perubahan iklim dengan menyerap karbon dioksida (CO_2) dan menyimpannya dalam tanah. Dengan demikian, biochar bukan hanya meningkatkan kesuburan tanah, tetapi juga memberikan manfaat lingkungan jangka panjang.

Efektivitas biochar dalam meningkatkan retensi air tanah pada berbagai jenis tanah dan kondisi iklim yang berbeda

Biochar terbukti efektif dalam meningkatkan retensi air tanah, meskipun tingkat efektivitasnya bervariasi tergantung pada jenis tanah dan kondisi iklim. Pada tanah berpasir, yang umumnya memiliki pori-pori besar dan rendah kemampuan menahan air, biochar memberikan manfaat signifikan. Struktur biochar yang berpori mampu menahan air di celah-celah mikro dan makroporinya, sehingga memperlambat aliran air dan mengurangi kehilangan air melalui perkolasi. Dengan demikian, biochar meningkatkan kelembapan tanah, yang sangat bermanfaat untuk pertumbuhan tanaman di tanah berpasir yang cepat mengering.

Pada tanah liat, yang memiliki pori-pori kecil dan cenderung menahan air berlebihan, biochar membantu memperbaiki aerasi dengan menciptakan ruang tambahan untuk pergerakan udara dan air. Meskipun tanah liat mampu menyimpan banyak air, tanaman seringkali tidak dapat mengaksesnya secara optimal karena ikatan yang terlalu kuat. Biochar memperbaiki kondisi ini dengan meningkatkan porositas dan mendorong distribusi air yang lebih merata. Hal ini membuat air lebih tersedia bagi tanaman, sekaligus mengurangi risiko tanah menjadi terlalu jenuh yang dapat menghambat pertumbuhan akar.

Efektivitas biochar juga dipengaruhi oleh kondisi iklim. Di daerah dengan iklim kering atau musim kemarau panjang, penambahan biochar dapat membantu tanah mempertahankan kelembapan lebih lama, mengurangi kebutuhan irigasi, dan mengurangi risiko kekeringan. Biochar berfungsi seperti spons yang menyerap air saat tersedia dan perlahan-lahan melepaskannya ketika tanah mulai mengering (ABDI, 2023). Di daerah dengan curah hujan tinggi, biochar membantu mengurangi aliran permukaan dan pencucian unsur hara dengan menyimpan air di dalam tanah, sehingga meminimalkan erosi dan menjaga kualitas tanah.

Selain faktor fisik dan iklim, jenis biomassa yang digunakan untuk membuat biochar dan suhu pirolisis juga memengaruhi efektivitasnya dalam retensi air. Biochar dari bahan seperti sekam padi atau kayu memiliki karakteristik berbeda dalam menyimpan air. Demikian pula, biochar yang diproduksi pada suhu tinggi cenderung memiliki struktur yang lebih stabil dan pori-pori yang lebih luas, meningkatkan kapasitas retensi air dalam jangka panjang. Oleh karena itu, aplikasi biochar perlu disesuaikan dengan jenis tanah dan kondisi lingkungan setempat untuk mencapai hasil optimal.

Secara keseluruhan, biochar berpotensi besar dalam meningkatkan retensi air di berbagai jenis tanah dan kondisi iklim. Namun, keberhasilannya bergantung pada faktor-faktor seperti komposisi biochar, metode aplikasi, dan karakteristik lingkungan. Dengan penerapan yang tepat, biochar tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan air tetapi juga mendukung keberlanjutan pertanian dan ketahanan pangan di berbagai ekosistem.

Variasi dalam Metode Produksi dan Bahan Baku Biochar

Variasi dalam metode produksi dan bahan baku biochar memiliki dampak signifikan terhadap kemampuannya dalam meningkatkan kesuburan tanah dan retensi air. Metode produksi, yang mencakup proses pirolisis, gasifikasi, dan hidrotermal, menentukan sifat fisik dan kimia biochar yang dihasilkan. Misalnya, pirolisis pada suhu tinggi (500–700 °C)

menghasilkan biochar dengan struktur yang lebih stabil, porositas yang lebih tinggi, dan kapasitas adsorpsi yang lebih baik. Biochar yang dihasilkan pada suhu tinggi cenderung memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi dan sifat asam yang lebih rendah, yang berkontribusi pada peningkatan kapasitas tukar kation (KTK) dan pH tanah. Sebaliknya, biochar yang diproduksi pada suhu rendah (di bawah 300 °C) mungkin memiliki kandungan nutrisi yang lebih tinggi, tetapi strukturnya kurang stabil, sehingga dapat terdekomposisi lebih cepat dan kehilangan manfaatnya dalam jangka panjang.

Bahan baku yang digunakan untuk membuat biochar juga memengaruhi sifat-sifatnya. Biochar yang dibuat dari limbah pertanian seperti sekam padi atau jerami sering kali kaya akan nutrisi, tetapi dapat memiliki kandungan mineral dan unsur hara yang berbeda. Misalnya, biochar yang dihasilkan dari kayu cenderung lebih stabil, tetapi mungkin mengandung lebih sedikit unsur hara dibandingkan dengan biochar dari bahan organik lainnya. Selain itu, biochar yang berasal dari sumber biomassa yang kaya lignin, seperti kayu keras, umumnya lebih efektif dalam meningkatkan retensi air karena strukturnya yang lebih padat dan tahan lama (Pramesti et al., n.d.). Di sisi lain, biochar dari sumber yang lebih mudah terdekomposisi, seperti dedak padi, mungkin menawarkan manfaat jangka pendek tetapi kurang efektif dalam retensi air dalam jangka waktu panjang.

Sifat kimia dari biochar juga dipengaruhi oleh komposisi bahan baku. Misalnya, biochar yang dihasilkan dari limbah peternakan dapat memiliki kandungan nitrogen yang lebih tinggi, yang sangat bermanfaat dalam meningkatkan kesuburan tanah. Namun, biochar ini mungkin juga memiliki pH yang lebih rendah, yang dapat mempengaruhi ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Sebaliknya, biochar dari limbah industri, seperti serbuk gergaji, dapat memberikan manfaat dalam hal stabilitas karbon, tetapi mungkin mengandung bahan kimia berbahaya yang dapat memengaruhi kesehatan tanah dan tanaman. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan sumber bahan baku dalam produksi biochar agar sesuai dengan tujuan agrikultural tertentu dan meningkatkan hasil pertanian secara berkelanjutan.

Aplikasi biochar juga harus disesuaikan dengan jenis tanah dan kondisi iklim untuk mencapai hasil optimal. Misalnya, pada tanah berpasir, biochar yang dihasilkan dari bahan organik kaya karbon dapat meningkatkan retensi air, sementara di tanah liat, biochar dengan struktur lebih stabil mungkin lebih efektif dalam meningkatkan aerasi dan mengurangi kejenuhan. Dengan kata lain, variasi dalam metode produksi dan bahan baku biochar menciptakan produk dengan karakteristik yang berbeda, yang akan memengaruhi kemampuannya dalam meningkatkan kesuburan tanah dan retensi air. Oleh karena itu, pemilihan metode produksi dan bahan baku yang tepat sangat penting dalam memaksimalkan potensi biochar sebagai amendemen tanah dan alat untuk pertanian berkelanjutan.

Dampak Jangka Panjang Aplikasi Biochar terhadap Mikrobiota Tanah

Aplikasi biochar memiliki dampak jangka panjang yang signifikan terhadap mikrobiota tanah, yaitu komunitas mikroorganisme yang berperan penting dalam proses biogeokimia dan kesuburan tanah. Salah satu efek utama dari biochar adalah peningkatan keberagaman dan aktivitas mikroorganisme tanah. Struktur pori-pori biochar menyediakan habitat yang ideal bagi

mikroba, menciptakan mikrohabitat yang stabil di dalam tanah. Ruang-ruang ini membantu mikroba untuk bertahan hidup dan berkembang, terutama selama kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan, seperti kekeringan atau genangan air. Selain itu, biochar juga berfungsi sebagai sumber karbon yang dapat terurai, yang menyediakan makanan bagi mikroorganisme tanah. Dengan demikian, aplikasi biochar dapat meningkatkan populasi mikroorganisme, termasuk bakteri, jamur, dan mikroba lainnya yang berperan dalam proses dekomposisi bahan organik dan siklus nutrisi.

Salah satu kontribusi utama mikrobiota yang berkembang berkat aplikasi biochar adalah peningkatan proses dekomposisi dan mineralisasi bahan organik. Mikroba yang berlimpah dan aktif dalam tanah dapat mempercepat penguraian bahan organik menjadi bentuk-bentuk nutrisi yang lebih tersedia bagi tanaman. Proses ini juga meningkatkan kapasitas tanah untuk menyimpan unsur hara, sehingga membuatnya lebih subur. Selain itu, mikroorganisme, khususnya bakteri penambat nitrogen, dapat meningkatkan ketersediaan nitrogen di dalam tanah. Nitrogen adalah salah satu unsur hara esensial bagi pertumbuhan tanaman, dan keberadaan mikroorganisme ini sangat penting untuk pertumbuhan tanaman yang optimal. Dengan kata lain, biochar tidak hanya bertindak sebagai medium fisik, tetapi juga mendukung aktivitas biologis yang esensial untuk kesuburan tanah.

Dampak positif jangka panjang dari aplikasi biochar terhadap mikrobiota tanah juga mencakup peningkatan ketahanan tanah terhadap patogen dan penyakit tanaman. Keberagaman mikrobiota yang lebih tinggi dan keseimbangan antara mikroba menguntungkan dan merugikan dapat mengurangi peluang munculnya penyakit tanaman. Mikroorganisme menguntungkan dapat bersaing dengan patogen untuk sumber daya dan ruang, serta dapat menghasilkan senyawa antimikroba yang melindungi akar tanaman dari infeksi. Dengan mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia, aplikasi biochar berkontribusi pada pertanian yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Namun, perlu dicatat bahwa efek jangka panjang dari biochar terhadap mikrobiota tanah juga dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti jenis tanah, bahan baku biochar, dan metode aplikasi. Dalam beberapa kasus, biochar dapat berinteraksi dengan bahan organik lain dalam tanah, yang dapat memengaruhi ketersediaan nutrisi dan keberadaan mikroba (Situmeang, 2020). Oleh karena itu, penting untuk melakukan penelitian lebih lanjut tentang dampak spesifik aplikasi biochar di berbagai kondisi agrikultural. Secara keseluruhan, aplikasi biochar memiliki potensi untuk meningkatkan kesehatan dan kesuburan tanah melalui perbaikan mikrobiota tanah, yang pada gilirannya dapat mendukung pertumbuhan tanaman yang lebih baik dan meningkatkan produktivitas pertanian secara berkelanjutan.

Integrasi Biochar dengan Praktik Manajemen Tanah Lainnya

Integrasi biochar dengan praktik manajemen tanah lainnya, seperti pemupukan dan irigasi, dapat secara signifikan meningkatkan produktivitas pertanian dan efisiensi penggunaan sumber daya. Salah satu cara paling efektif untuk mengoptimalkan manfaat biochar adalah dengan menggabungkannya dengan pemupukan. Biochar dapat meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) dan retensi air dalam tanah, sehingga membantu tanaman untuk lebih efisien

dalam memanfaatkan pupuk yang diberikan. Dengan mencampurkan biochar ke dalam tanah sebelum pemupukan, unsur hara dari pupuk dapat diserap dengan lebih baik dan dilepaskan secara bertahap, mengurangi risiko pencucian nutrisi ke dalam lapisan tanah yang lebih dalam. Hal ini tidak hanya mengurangi kebutuhan akan pupuk tambahan, tetapi juga meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan akibat kelebihan penggunaan pupuk kimia.

Selain itu, biochar juga berfungsi sebagai media penyimpanan air yang efektif, sehingga dapat diintegrasikan dengan sistem irigasi untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air. Dalam praktik irigasi, biochar dapat ditambahkan ke tanah untuk meningkatkan retensi air, memungkinkan tanah menyimpan lebih banyak kelembapan yang dapat diakses oleh tanaman. Dengan mengurangi frekuensi penyiraman yang diperlukan, petani dapat menghemat waktu, tenaga, dan sumber daya air. Ini sangat penting di daerah yang mengalami kekeringan atau memiliki masalah dengan pasokan air yang terbatas. Penggunaan biochar dalam sistem irigasi dapat membantu meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres air dan memperpanjang periode antara pengairan.

Biochar juga dapat diintegrasikan dengan praktik konservasi tanah, seperti penanaman tanaman penutup atau rotasi tanaman. Tanaman penutup yang ditanam di atas biochar dapat meningkatkan sirkulasi udara dan menjaga kelembapan tanah. Selain itu, dengan rotasi tanaman, biochar dapat meningkatkan kesehatan tanah secara keseluruhan, memungkinkan berbagai jenis tanaman untuk mendapatkan manfaat dari kondisi tanah yang lebih baik (Sukmawati et al., 2024). Dalam sistem pertanian terpadu, di mana biochar digunakan sebagai amendemen tanah bersamaan dengan pemupukan organik, pestisida nabati, dan praktik irigasi cerdas, pertanian menjadi lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Kombinasi ini mendukung pertumbuhan tanaman yang lebih baik, meningkatkan ketahanan terhadap hama dan penyakit, serta mengurangi ketergantungan pada input kimia.

Akhirnya, penting untuk melakukan pengawasan dan penelitian yang tepat untuk memastikan bahwa integrasi biochar dengan praktik manajemen tanah lainnya disesuaikan dengan kebutuhan spesifik tanaman dan kondisi lokal. Setiap jenis tanah dan tanaman mungkin memiliki respon yang berbeda terhadap penggunaan biochar, oleh karena itu, evaluasi yang terus-menerus akan membantu para petani untuk mengoptimalkan strategi mereka dan meningkatkan hasil pertanian secara keseluruhan. Dengan cara ini, biochar bukan hanya menjadi amendemen tanah, tetapi juga bagian integral dari sistem pertanian yang holistik dan berkelanjutan, meningkatkan produktivitas dan efisiensi penggunaan sumber daya.

Implikasi Ekonomi dan Lingkungan dari Penggunaan Biochar dalam Skala Besar

Penggunaan biochar dalam skala besar sebagai amendemen tanah untuk meningkatkan kesuburan dan retensi air memiliki sejumlah implikasi ekonomi dan lingkungan yang penting. Dari perspektif ekonomi, biochar dapat menawarkan manfaat finansial yang signifikan bagi petani dan produsen pertanian. Dengan meningkatkan kesuburan tanah dan retensi air, biochar dapat meningkatkan hasil panen secara keseluruhan, yang pada gilirannya dapat meningkatkan pendapatan petani. Selain itu, penggunaan biochar dapat mengurangi biaya pemupukan, karena biochar meningkatkan kapasitas tanah untuk menyimpan dan melepaskan unsur hara.

Pengurangan pencucian nutrisi ke dalam tanah juga dapat menghemat biaya, mengurangi kebutuhan untuk aplikasi pupuk tambahan.

Di sisi lain, investasi awal dalam produksi dan aplikasi biochar dapat menjadi tantangan ekonomi. Biaya pengadaan bahan baku, proses produksi, dan penerapan biochar dalam skala besar dapat memerlukan modal yang cukup besar. Namun, seiring dengan meningkatnya kesadaran tentang keberlanjutan dan potensi biochar dalam mitigasi perubahan iklim, dukungan dari pemerintah dan lembaga swasta untuk penelitian, pengembangan, dan distribusi biochar dapat membantu mengurangi biaya dan mendorong adopsi teknologi ini. Selain itu, pemanfaatan limbah biomassa sebagai bahan baku untuk biochar juga berpotensi menciptakan lapangan kerja baru dan meningkatkan perekonomian lokal, terutama di daerah pedesaan.

Dari sudut pandang lingkungan, penggunaan biochar memiliki potensi untuk berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim. Biochar adalah bentuk karbon terikat yang dapat menyimpan karbon dalam tanah selama ratusan hingga ribuan tahun. Dengan demikian, penerapan biochar dalam skala besar dapat berfungsi sebagai strategi untuk mengurangi konsentrasi karbon dioksida di atmosfer. Selain itu, dengan mengurangi kebutuhan untuk pupuk kimia, biochar juga dapat mengurangi risiko pencemaran air dan tanah akibat kelebihan nutrisi. Pencucian dan erosi dapat diminimalkan, berkontribusi pada kualitas air yang lebih baik dan ekosistem yang lebih sehat. (Lestari et al., 2024)

Namun, penggunaan biochar dalam skala besar juga memerlukan perhatian terhadap potensi dampak negatif. Produksi biochar harus dilakukan dengan cara yang berkelanjutan untuk menghindari deforestasi atau pengambilan bahan baku yang tidak etis. Selain itu, kualitas biochar dapat bervariasi tergantung pada bahan baku dan metode produksinya, yang berarti biochar yang buruk dapat memiliki dampak negatif pada tanah dan tanaman. Oleh karena itu, penting untuk memastikan bahwa biochar yang digunakan memenuhi standar kualitas tertentu dan diproduksi dari sumber yang berkelanjutan.

Secara keseluruhan, implikasi ekonomi dan lingkungan dari penggunaan biochar dalam skala besar sangat positif jika diterapkan dengan benar. Meskipun tantangan biaya dan potensi dampak negatif harus diatasi, manfaat jangka panjang dalam hal peningkatan produktivitas pertanian, keberlanjutan lingkungan, dan mitigasi perubahan iklim menunjukkan bahwa biochar adalah solusi yang menjanjikan untuk meningkatkan kesuburan tanah dan retensi air secara berkelanjutan. Dengan dukungan yang tepat dari kebijakan dan penelitian, biochar dapat menjadi komponen kunci dalam strategi pertanian modern yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

PENUTUP

Biochar merupakan produk hasil pirolisis biomassa yang memiliki potensi besar dalam meningkatkan kesuburan tanah dan retensi air. Proses pirolisis yang dilakukan pada suhu tinggi menghasilkan biochar dengan struktur pori-pori yang luas, memungkinkan peningkatan kapasitas tukar kation (KTK) dan pH tanah. Dengan kemampuan ini, biochar dapat menahan dan menyerap kation penting seperti kalium, magnesium, dan kalsium, serta mengurangi

pencucian unsur hara. Selain itu, biochar juga berfungsi untuk memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kelembapan, dan mendukung aktivitas mikroba yang esensial bagi kesuburan tanah. Dengan demikian, penerapan biochar tidak hanya meningkatkan kualitas tanah tetapi juga berkontribusi pada pertanian berkelanjutan dan mitigasi perubahan iklim.

Efektivitas biochar dalam meningkatkan retensi air bervariasi tergantung pada jenis tanah dan kondisi iklim. Pada tanah berpasir yang cepat kering, biochar dapat menahan air lebih baik dan memperlambat aliran air, sedangkan pada tanah liat, biochar membantu memperbaiki aerasi dan distribusi air. Di daerah dengan iklim kering, biochar berfungsi seperti spons yang menyimpan air, sedangkan di daerah hujan tinggi, ia membantu mengurangi pencucian unsur hara. Variasi dalam metode produksi dan bahan baku juga memengaruhi karakteristik biochar, sehingga penting untuk memilih metode yang tepat agar manfaatnya dapat dimaksimalkan sesuai dengan kondisi lokal.

Dari perspektif ekonomi dan lingkungan, penggunaan biochar dalam skala besar menawarkan banyak keuntungan. Meskipun ada tantangan terkait biaya produksi dan aplikasi awal, peningkatan hasil panen dan pengurangan kebutuhan pupuk kimia dapat menguntungkan petani secara finansial. Selain itu, biochar berpotensi menyimpan karbon dalam tanah untuk jangka waktu lama, sehingga berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim. Namun, perhatian harus diberikan terhadap kualitas biochar dan keberlanjutan sumber bahan bakunya untuk menghindari dampak negatif. Secara keseluruhan, dengan penerapan yang tepat, biochar dapat menjadi solusi inovatif untuk meningkatkan kesuburan tanah dan mendukung keberlanjutan pertanian di berbagai ekosistem.

DAFTAR PUSTAKA

- ABDI, F. P. (2023). *RESPIRASI TANAH PADA PERTANAMAN JAGUNG (Zea mays L.) DI TANAH ULTISOL PADA MUSIM TANAM KE-3 AKIBAT APLIKASI BIOCHAR DAN KOTORAN AYAM*.
- Indrawati, U. S. (2023). Identifikasi Biochar yang Dibuat Dengan Lama Pirolisis yang Berbeda Sebagai Amelioran pada Tanah Gambut. *Jurnal Pedontropika: Jurnal Ilmu Tanah Dan Sumber Daya Lahan*, 9(2), 61–68.
- Indrawati, U. S. Y. V., Hazriani, R., Manurung, R., & Agustine, L. (2024). TRANSFER TEKNOLOGI GREEN FERTILIZER UNTUK MENINGKATKAN KESUBURAN TANAH MARGINAL. *Jurnal Abditani*, 7(1), 6–9.
- Lestari, A. P., Zulkarnain, Z., Adriani, A., Mapegau, M., & Eliyanti, E. (2024). Ultisol optimization strategy: the use of Tithonia compost and rice husk biochar to improve nodulation and promote soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) growth. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 11(2), 5419–5427.
- Loka, C. V. (2024). MENGUAK POTENSI BIOCHAR MENINGKATKAN KESEHATAN TANAH DALAM PERTANIAN. *Tugas Mahasiswa Fakultas Pertanian*, 1(1).

- Pramesti, F. R. A., Indrawati, U. S. Y. V., & Sulakhudin, S. (n.d.). PENGARUH PEMBERIAN BIOCHAR TANKOS DAN BIOCHAR KOTORAN AYAM TERHADAP KETERSEDIAAN UNSUR HARA NPK DAN PERTUMBUHAN TANAMAN JAGUNG MANIS (*Zea mays* L. Saccharata Sturt) DI TANAH ALUVIAL. *Jurnal Sains Pertanian Equator*, 13(1), 14–22.
- Prasetyo, T. B., & Yulnafatmawita, Y. (2024). Peranan Biochar dan Kompos dalam Meningkatkan Retensi Air dan Produksi Jagung Manis (*Zea mays* L. var. saccharata) pada Tanah Bertekstur Kasar. *Agrikultura*, 35(2), 238–249.
- Situmeang, I. Y. P. (2020). *Biochar Bambu Perbaiki Kualitas Tanah dan Hasil Jagung*. Scopindo Media Pustaka.
- Sukmawati, S., Bahruddin, B., Harsani, H., Qadri, S. N., & Zamzam, S. (2024). *Biochar: Kunci Sistem Produksi Jagung Berbasis Karbon di Lahan Kering*.
- Wedayani, N. M., Rai, I. N., Mahardika, I. G., & Wijana, I. M. S. (2024). Pengaruh Pemberian Biochar Limbah Pisang terhadap Kesuburan Tanah. *Agro Bali: Agricultural Journal*, 7(1), 137–145.
- Yulies, U. S., Hazriani, R., & Maulidi, M. (2022). Uji Kombinasi Dosis Biochar Tankos dan Kotoran Ayam untuk Perbaikan Kesuburan Tanah Sawah. *Jurnal Pedontropika: Jurnal Ilmu Tanah Dan Sumber Daya Lahan*, 8(2), 50–60.