

BIOCHAR: PEMANFAATAN DAN APLIKASI PRAKTIS

Biochar: Beneficial and Best Practices

Rusdi Evizal^{1*} dan Fembriarti Erry Prasmatiwi²

¹Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung

²Jurusan Agribisnis, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung

Jl. Sumantri Brojonegoro No 1 Gedung Meneng, Bandar Lampung 35145

*E-mail korespondensi: rusdi.evizal@fp.unila.ac.id

ABSTRAK

Biochar adalah padatan kaya karbon yang dihasilkan dari pirolisis biomassa seperti kayu, serasah, pupuk kandang, dan limbah lainnya di bawah suhu tinggi dan kondisi oksigen rendah yang digunakan untuk aplikasi pertanian sebagai bahan pembenah tanah. Tulisan ini mereview pemanfaatan dan aplikasi praktis biochar. Aplikasi biochar ke dalam tanah dapat memperbaiki sifat fisika, kimia, dan biologi tanah yaitu dapat meningkatkan porositas, kapasitas memegang air, agregasi tanah, meningkatkan pH, kapasitas tukar kation, karbon organik tanah, retensi dan ketersediaan hara, dan meningkatkan kehidupan mikroba, meso dan makro fauna tanah. Selain sebagai pembenah tanah, biochar memiliki fungsi pada isu pemanasan global, perubahan iklim, dan lingkungan yaitu berperan pada sekuestrasi dan stabilisasi karbon, emisi gas rumah kaca, dan remediasi polutan tanah. Apabila biochar yang diaplikasikan secara tepat yaitu menggunakan bahan, metode pembuatan, dosis, cara aplikasi, dan tempat yang tepat maka akan berpengaruh meningkatkan performa agronomi dan hasil tanaman. Hasil panen yang turun sebagian besar terjadi di daerah beriklim sedang karena biochar secara signifikan meningkatkan pH tanah yang menyebabkan efek seperti pengapuran yang mengakibatkan immobilisasi nutrisi seperti Mg, Fe, B, dan P. Agar pengaruh positif dalam meningkatkan pertumbuhan dan hasil segera terlihat maka aplikasi biochar perlu dicampur atau diaplikasikan bersamaan dengan bahan pupuk seperti pupuk kimia, pupuk hayati, kompos, pupuk kandang. Upaya lain adalah dengan pengayaan biochar dengan bahan-bahan tersebut sehingga biochar dikategorikan sebagai pupuk berbasis biochar sehingga memiliki harga jual yang lebih tinggi.

Kata kunci: Aplikasi, biochar, manfaat, metode, hasil tanaman

ABSTRACT

Biochar is a carbon-rich solid produced from the pyrolysis of biomass such as wood, manure, and leaves under high temperature and low oxygen conditions which is used for agricultural applications as a soil amendment. This paper reviews the utilization and practical application of biochar. The application of biochar into the soil can improve the physical, chemical and biological properties of the soil, namely increasing porosity, water holding capacity, soil aggregation, increasing pH, cation exchange capacity, soil organic carbon, nutrient retention and availability, and increasing microbial life, meso and soil macrofauna. Aside from being a soil amendment, biochar has a function on issues of global warming, climate change, and the environment, namely its role in carbon sequestration and stabilization, greenhouse gas emissions, and soil pollutant remediation. If biochar is applied properly, namely using the right feedstock materials, method of manufacture, dosage, method of application, and place, it will affect agronomic performance and crop yields. Reduced yields are mostly occurred in temperate climates as biochar significantly increases soil pH causing an effect such as liming resulting in immobilization of key nutrients such as Mg, Fe, B, and P. Biochar needs to be mixed or applied together with fertilizer ingredients such as chemical fertilizers, bio-fertilizers, compost, and manure.

Another effort is to enrich biochar with those materials so that biochar is categorized as a biochar-based fertilizer that has a higher selling price.

Key words : Application, biochar, benefit, crop yield, method

PENDAHULUAN

Teknologi untuk peningkatan produksi pertanian telah berumur sangat tua bahkan seumur dengan sejarah pertanian itu sendiri. Teknologi kompos dan pupuk kandang telah dimulai 2300 tahun SM (Fitzpatrick et al. 2005). Demikian juga pemanfaatan asap untuk penyiapan benih, pembakaran terbatas (*prescribed burning*) untuk penyiapan lahan (Kulkarni et al. 2011), serta pemanfaatan biochar pada sistem pertanian tradisional di Lembah Amazone sehingga terbentuk tanah hitam (*black soil*) terra preta untuk meningkatkan potensi pertanian pada tanah yang kurang subur (Barrow 2012).

Tanah hitam antropogenik juga ditemukan di wilayah Baltik Jerman (Thiele-Bruhn et al. 2014), di Sub-sahara Afrika (Solomon et al. 2016) dan kemungkinan di Kalimantan Timur (Sheil et al. 2012). Formasi tanah hitam terra preta bersifat antropogenik (aktivitas manusia) ribuan tahun yang lalu yaitu diduga berasal dari pembakaran sampah rumah tangga dan vegetasi yang berakumulasi dengan limbah organik pemukiman (Kern et al. 2017).

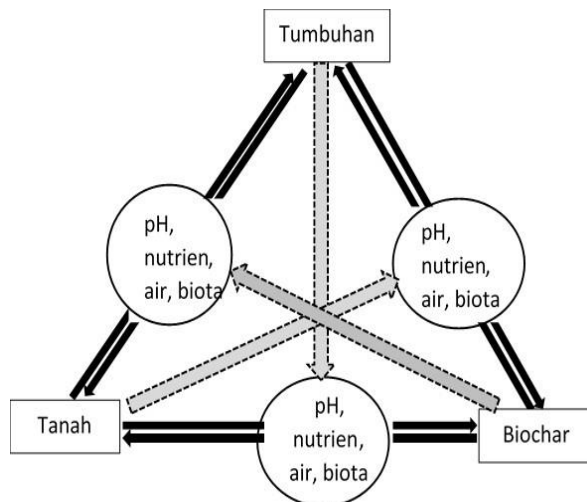
Pemanfaatan biochar untuk pertanian merupakan kearifan lokal petani di Sub-sahara Afrika. Untuk bertani mereka menambahkan beberapa jenis limbah seperti sisa abu dan arang hasil dapur, produk sampingan dari pengolahan minyak sawit dan pembuatan sabun olahan rumah tangga, input organik berbasis hewani seperti tulang dari persiapan makanan, serta sisa panen dan sampah rumah tangga berbasis biomassa tanaman (Solomon et al. 2016). Aplikasi biochar untuk lahan pertanian sebagai hasil dari pirolisis kayu yang disengaja atau sebagai produk sampingan dari memasak, telah memiliki sejarah lebih dari 150 tahun di Dunia Barat (Schmidt et al. 2021).

Praktik pemanfaatan biochar pertanian terus berkembang dengan cepat baik dari metode pembuatan maupun formulasinya. Banyak penelitian yang melaporkan pengaruh aplikasi biochar terhadap sifat tanah dan agronomi tanaman (Schmidt et al. 2021). Formulasi biochar dari bahan lokal yang banyak tersedia diperlukan secara praktis oleh petani, tidak hanya untuk perbaikan kesuburan lahan dalam jangka panjang, namun sekaligus mampu meningkatkan produksi tahun berjalan.

FUNGSI BIOCHAR

Aplikasi biochar ke dalam tanah memiliki banyak manfaat seperti pengaruhnya terhadap sifat fisika (meningkatkan porositas, kapasitas memegang air, agregasi tanah), kimia (meningkatkan pH, kapasitas tukar kation, karbon organik tanah, retensi dan ketersediaan hara), dan biologi tanah (mikroba dan cacing tanah). Perbaikan sifat tanah tersebut kemudian berpengaruh terhadap penampilan agronomis tanaman yaitu pertumbuhan dan produksi (Hussain et al. 2017).

Secara lebih luas maka terjadi interaksi segitiga antara biochar, tanah, dan tumbuhan. Pengaruh biochar dipengaruhi oleh tanah maupun tumbuhan (panah padat), dan bagaimana biochar akan mempengaruhi interaksi antara tumbuhan dan tanah (panah putus). Kekuatan pengaruh bervariasi dalam ruang dan waktu dan berbeda tergantung pada jenis tanah, tanaman dan biochar. Gambar 1 menunjukkan pengaruh efek-efek tersebut secara sederhana (Lehmann et al. 2015). Pengaruh biochar juga terhadap lingkungan namun belum tercakup di dalam konsep tersebut.



Gambar 1. Sketsa konseptual pengaruh biochar, tumbuhan, dan tanah (sumber: (Lehmann et al. 2015))

Selain sebagai pembenah tanah, biochar memiliki fungsi pada isu pemanasan global, perubahan iklim, dan lingkungan yaitu berperan pada sekuestrasi dan stabilisasi karbon, emisi gas rumah kaca, dan remediasi polutan tanah. Konversi bahan organik menjadi biochar berarti meminimasi emisi CO₂ ketika dekomposisi bahan organik di tanah. Selain minimisasi CO₂, aplikasi biochar meminimisasi emisi gas rumah kaca yang lain seperti nitrat, nitrit oksida, dan metan (Haider et al. 2022). Biochar mampu mengadsorpsi, mengadsorpsi, imobilisasi dan removal berbagai senyawa polutan sehingga tidak mencemari badan air dan meracuni tanaman seperti dilaporkan Tan et al. (2015) juga Kang et al. (2022).

Hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan biochar ke dalam tanah rata-rata menghasilkan peningkatan produktivitas di atas permukaan tanah, hasil panen, biomassa mikroba tanah, nodulasi rhizobia, konsentrasi jaringan K tanaman, fosfor tanah (P), kalium tanah (K), nitrogen tanah total (N), total karbon tanah (C), dan pH tanah dibandingkan dengan kondisi kontrol (Biederman and Harpole 2013). Peran agronomis aplikasi biochar akan didiskusikan lebih lanjut pada subbab sendiri.

KANDUNGAN BIOCHAR

Biochar adalah padatan kaya karbon yang dihasilkan dari pirolisis biomassa seperti kayu, pupuk kandang, seresah dan daun di bawah suhu tinggi dan kondisi oksigen rendah yang digunakan untuk aplikasi pertanian sebagai bahan pembenah tanah (*soil amendment*) (Oni et al 2019; Lehmann and Joseph 2015). Proses pembuatan biochar mirip seperti pembuatan arang, yang merupakan teknologi industri bahan energi yang paling kuno, namun biochar digunakan untuk pertanian.

Istilah biochar lebih tepat daripada arang pertanian karena biochar mencakup aplikasi arang untuk pertanian maupun isu yang lebih luas seperti rehabilitasi dan restorasi lahan, sekuestrasi karbon dan mitigasi perubahan iklim. Istilah biochar juga menekankan asal biologis, yang membedakannya dari bahan non-biologis seperti plastik dan dari bahan fosil. Istilah “black carbon” merupakan istilah yang jauh lebih luas yaitu termasuk semua residu kaya C menggunakan proses api atau panas. Bahan bakar fosil seperti batubara, gas dan bensin, serta biomassa, dapat menghasilkan black carbon (Lehmann and Joseph 2015).

Biochar umum dihasilkan dari pirolisis lambat (*slow pyrolysis*) yang disebut sebagai karbonisasi konvensional (*conventional carbonization*). Proses ini menghasilkan biochar dengan cara pemberian panas yang relatif rendah kepada biomassa dengan kondisi sedikit oksigen sehingga membutuhkan waktu yang cukup lama yaitu sampai satu hari. Dengan bahan baku sekam padi, temperatur pirolisis yang rendah (300°C) memberikan hasil karbon yang rendah (49-70%) sedangkan pada temperatur tinggi (600°C) memberikan hasil karbon mencapai 85-93% (Oni et al 2019). Pembakaran pembuatan biochar metode tungku bercerobong dari bahan kulit kopi membutuhkan waktu 1 hari (Hanisah et al. 2020). Pembakaran untuk pembuatan arang secara tradisional menggunakan metode soil

pit membutuhkan waktu 5-6 hari (Iskandar and Santoso 2005).

Agar lebih murah, untuk bahan baku biochar dimanfaatkan limbah pertanian seperti jerami padi dan gandum, merang gandum, tongkol jagung dan kapas, merang kulit kopi, kulit kakao, limbah kayu, pelepah kelapa dan sawit, batok kelapa, sabut dan limbah degan kelapa, tandan kosong sawit, ampas tebu, limbah ternak (kotoran kambing dan sapi), ranting semak belukar, biomassa pembukaan lahan, dan lumpur limbah kota. Menurut Wang et al. (2021) biochar yang diperoleh dari bahan baku yang berbeda, menunjukkan sifat fisik dan kimia yang sangat berbeda. Sifatnya juga tergantung pada faktor lain seperti mode pirolisis, suhu pirolisis dan lama pirolisis.

Kandungan unsur hara biochar dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain bahan baku (*feedstock*), temperatur pirolisis, dan perlakuan setelahnya. Apabila temperatur dinaikkan kandungan P biochar semakin meningkat, kandungan total K sedikit meningkat, dan kandungan N semakin menurun. Sejumlah besar nutrisi seperti N, K dan S hilang melalui penguapan pada suhu yang lebih tinggi selama pirolisis. Untuk meningkatkan nilai nutrisi biochar dilakukan reaksi lebih lanjut dengan nutrisi atau pencampuran bahan baku yang berbeda untuk mengembangkan produk yang berbeda agar sesuai dengan tanaman dan tanah yang berbeda (Lehmann and Joseph 2015).

BIOCHAR CAMPURAN

Produk biochar campuran merupakan campuran biochar dengan pupuk sintetik, pupuk kandang, kompos, atau ketiganya sebagai produk pupuk berbasis biochar sehingga harga jualnya lebih tinggi daripada biochar murni. Aplikasi biochar campuran pupuk ini ini dimaksudkan meningkatkan hasil tanaman, daripada hanya aplikasi biochar atau aplikasi biochar dan pupuk secara terpisah. Acharya et al. (2022) membedakan antara biochar campuran

(*blended* atau *mixed*) yang menunjukkan hanya pencampuran fisik, dengan biochar diperkaya (*enriched*) yang menunjukkan adanya perlakuan sehingga campuran lebih terikat seperti *pretreatment* dengan perendaman, *co-composting*, bahkan *co-pyrolysis*.

Achakzai et al. (2023) melaporkan aplikasi campuran NPK dengan biochar yang berasal dari pupuk kandang (6,6 ton/ha) secara konsisten meningkatkan hasil jinten selama dua tahun pertama penanaman daripada kontrol maupun hanya aplikasi NPK. Hasil penelitian menunjukkan pengaruh positif aplikasi pupuk campuran biochar terhadap hasil agronomis tanaman dibandingkan aplikasi pupuk NPK atau pupuk kandang saja.

Pencampuran biochar dengan pupuk kandang atau kompos dapat dilakukan sebelum fermentasi/pengomposan atau setelah bahan-bahan tersebut sudah dikomposkan. Aplikasi biochar campuran kompos (baik dicampur setelah pengomposan atau sebelum pengomposan) memberikan pengaruh yang lebih baik daripada aplikasi biochar dan kompos atau pupuk kandang secara terpisah (Rombel et al 2022). Schmidt et al. (2014) melaporkan penggunaan campuran biochar dengan kompos lalu dilakukan pengomposan hasilnya diaplikasikan di atas tanah di barisan tanaman anggur, namun tidak meningkatkan produksi secara nyata. Hal ini menunjukkan bahwa aplikasi biochar sebaiknya ditanamkan atau dicampur dengan tanah.

Hasil penelitian Jabborova et al. (2021) merekomendasikan bahwa aplikasi kombinasi biochar dan mikoriza (FMA) menguntungkan dalam pertumbuhan tanaman klebet, biomassa mikroba, dan aktivitas enzim tanah. Perlakuan aplikasi biochar bersama dengan FMA meningkatkan tinggi tanaman yaitu sebesar 80,9%, total panjang akar sebesar 68,9%, luas proyeksi sebesar 48,7%, luas permukaan akar sebesar 34,4%, volume akar sebesar 78,5%, kandungan klorofil a sebesar

34,2 %, kandungan klorofil b sebesar 68,4%, kandungan klorofil total sebesar 44,5%, dan kandungan karotenoid sebesar 84,0% dibandingkan dengan kontrol (tanpa biochar, tanpa FMA).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa adopsi biochar dan FMA merupakan strategi untuk menyeimbangkan produktivitas tanaman di lingkungan semi-kering.

Aplikasi biochar yang dikombinasikan dengan FMA menghasilkan peningkatan respon agronomi dibandingkan dengan tanaman yang tidak diberi perlakuan seperti biomassa akar, diameter batang, tinggi tanaman dan diameter bunga matahari (Langeroodi et al. 2022).

Tabel 1. Kandungan hara biochar

Bahan baku	N (%)	P (%)	Ca (%)	Mg (%)	K (%)	Na (%)
Bagas tebu	1,68	0,08	0,28	0,1	0,12	0,08
Tankos sawit	0,98	0,12	0,39	0,24	1,65	0,14
Tongkol jagung	2,75	0,07	0,04	0,03	0,18	0,11
Sekam padi	0,92	0,07	0,11	0,06	0,12	0,08
Serbuk gergaji mahoni	0,53	0,04	0,84	0,07	0,06	0,07
Kulit buah kakao	0,83	0,33	-	-	11,25	-
Tempurung kelapa	0,34	0,1	-	-	8,4	-
Limbah jagung (corn stover)	1,16	0,14	0,65	0,59	1,71	-
Bambu	0,41	0,11	-	-	2,78	-
Pangkasan pohon	0,91	0,23	2,5	2,87	1,39	-
Pukan ayam	2,45	2,15	2,17	2,84	4,93	-
Pukan sapi	0,71	0,19	-	-	0,26	-
Lumpur limbah	1,73	1,70	6,57	0,64	0,52	-

Sumber: 1. Septiana et al. (2018) pada t pirolisis 350°C.
 2. Nurida (2014)
 3. Hossain et al (2020).

APLIKASI BIOCHAR

Sejak tahun 1940-an penggunaan bahan organik di pertanian bergeser dari memproduksi sendiri kompos dan pupuk kandang menjadi membeli bahan tersebut, yang harganya semakin mahal. Biochar bisa menjadi masukan kunci untuk meningkatkan dan mempertahankan produksi dan sekaligus mengurangi polusi dan ketergantungan pada pupuk, juga bisa meningkatkan ketersediaan kelembaban tanah dan penyerapan karbon. Ada seruan untuk revolusi hijau ganda baru yaitu: peningkatan hasil panen, pengurangan dampak negatif, keberlanjutan yang lebih baik, dan semua ini dapat diakses oleh petani

yang lebih miskin serta produsen komersial (Barrow 2012).

Sebagai pembenah tanah maka biochar tidak diaplikasi sendirian, melainkan tetap dilakukan aplikasi pupuk atau bahan organik. Menurut Nurida et al. (2015) aplikasi biochar ke lahan dapat dilakukan dengan 3 cara yaitu: (1) disebar secara merata di permukaan tanah, lalu diaduk sampai kedalaman 5 cm, (2) diberikan dalam larikan atau jalur tanaman lalu ditutup dengan tanah dilarik (jalur tanaman), (3) ditanamkan di lubang tanam. Ukuran lubang tanam sesuai dengan dosis biochar yang akan diaplikasikan. Selanjutnya lubang ditutup dengan tanah. Penambahan pupuk dan pupuk kandang

dilakukan sesuai rekomendasi. Aplikasi biochar murni tanpa pemupukan atau dosis pupuk rendah dapat menurunkan pertumbuhan dan produksi tanaman seperti dilaporkan (Kammann et al. 2015; Alarefee et al. 2021).

Phares et al. (2022) melaporkan aplikasi biochar secara terpisah dengan pupuk sintetik NPK dan PGPB (plant growth promoting bacteria) kultur campuran *Bacillus* spp and *Pseudomonas* spp.

Hasilnya menunjukkan bahwa inklusi campuran kultur bakteri dalam kombinasi dengan biochar adalah strategi yang menjanjikan untuk meningkatkan hasil gabah, meningkatkan efisiensi penggunaan dan mengurangi tingkat aplikasi pupuk NPK anorganik yang direkomendasikan untuk budidaya jagung di zona agroekologi sabana pesisir Ghana.



Gambar 2. Pencampuran pupuk pada biochar (a) disemprot larutan pupuk, (b) dicampur ketika aplikasi

Aplikasi biochar mulai diadopsi petani perkebunan kakao dan kopi di Kabupaten Tanggamus Propinsi Lampung karena adanya hasil positif pertumbuhan dan hasil tanaman setelah diaplikasi biochar dosis 5-15 ton per hektar. Biochar diaplikasikan dalam bentuk campuran yaitu campuran pupuk kandang atau kompos (1:1 v/v) yang dicampur ketika pengomposan atau setelah pengomposan atau campuran dengan pupuk NPK yaitu disemprot larutan pupuk atau ditaburkan bersama di alur aplikasi atau di lubang tanam (Gambar 2). Petani memproduksi sendiri biochar dan menyalurkan asap melewati drum pendingan berisi air maka dihasilkan asap cair yang digunakan petani untuk pengendalian hama dan penyakit tanaman sekaligus aplikasi pupuk daun.

BIOCHAR DIPERKAYA

Untuk aplikasi sebagai pembenah tanah, biochar dibutuhkan dalam jumlah yang besar yaitu lebih dari 5 ton serta membutuhkan tenaga dan biaya yang banyak sehingga merupakan kendala dalam aplikasi praktis biochar. Terlebih lagi, pengaruh biochar mungkin tidak langsung cepat terlihat pada pertumbuhan dan hasil tanaman, karena pengaruhnya bersifat jangka panjang. Oleh karena itu diperlukan pengayaan kandungan biochar sehingga sifatnya sebagai pupuk yang segera meningkatkan produksi tanaman. Pengayaan pupuk maupun pupuk hayati memberikan nilai tambah bagi produk biochar sehingga harga jual lebih tinggi.

Di antaranya adalah pengayaan dengan pupuk buatan, yaitu pupuk-pupuk

(terutama pupuk P) dikombinasikan dengan biochar untuk membuat produk berbasis biochar. Caranya adalah melalui pencampuran langsung, *co-pyrolysis*, *compounding*, *co-composting*, penyerapan nutrient dari larutan dan *microwave synthesis* (Liu et al. 2019). Rombel et al. (2022) menjelaskan proses pengayaan dengan mencampur biomassa (serbuk gergaji dan rumput) dengan pupuk kimia komersial (TSP dan serbuk tulang) perbandingan 4: 1 (v/v) kemudian dilakukan pirolisis pada suhu 500°C.

Chew et al. (2020) melaporkan aplikasi pupuk berbasis biochar (BCF, *biochar-based compound fertilizers*) yang dibuat dengan cara pencampuran bahan-bahan yaitu jerami gandum dengan larutan urea, lempung bentonite, batuan fosfat, dan senyawa besi. Campuran didiamkan selama 24 jam, kemudian dikeringkan dan dilakukan pirolisis. Pupuk berbasis biochar yang diaplikasi dengan NPK meningkatkan secara dramatis penyerapan unsur hara dan bobot biomassa pada tanaman padi. Hasil penelitian menunjukkan partikel BCF yang tertanam dalam lapisan plak akar dapat meningkatkan potensi membran akar yang mengakibatkan peningkatan serapan hara dan biomassa tanaman. Interaksi antara BCF, tanaman, tanah, larutan tanah dan mikrobiota pada akhirnya mendukung hasil yang menguntungkan secara agronomi untuk pertumbuhan padi dan memiliki potensi besar untuk direkayasa di masa depan untuk sistem pertanian lainnya.

Kammann et al. (2015) melaporkan aplikasi biochar yang diperkaya kompos (*pre-composted*) memberi hasil biomassa tanaman yang lebih baik daripada aplikasi biochar, pupuk, dan kompos secara terpisah, terlebih lagi apabila tanpa pemberian pupuk dan kompos. Schmidt et al. (2015) melaporkan penggunaan biochar yang diperkaya dengan urine sapi. Caranya adalah mencampur biochar (yang merupakan cara pengayaan secara sederhana) dengan urine sapi dengan volume 1:1 selanjutnya campuran dibiarkan selama 1 jam kemudian

diaplikasikan di lubang tanam. Aplikasi kompos dan biochar diperkaya urine meningkatkan produksi tanaman labu secara drastis daripada aplikasi kompos dan urine saja, maupun aplikasi kompos dan biochar saja.

PERFORMA AGRONOMIS

Aplikasi biochar pada tanaman semusim akan berpengaruh jangka pendek (<1 bulan), jangka menengah (1-6 bulan), dan jangka panjang (>6 bulan). Pada jangka pendek, biochar berpengaruh terhadap perkecambahan benih. Kebanyakan jenis biochar dan formulasi biochar tidak menghambat perkecambahan dan pertumbuhan awal tanaman di tanah kecuali jika diberikan pada dosis yang sangat tinggi (>40–50 ton ha⁻¹), dan dapat mendorong perkecambahan dan pertumbuhan bibit pada dosis sedang. Mekanisme efek positif terhadap perkecambahan sebagian besar melibatkan senyawa organik yang larut dalam air yang merangsang perkecambahan dan pertumbuhan bibit (Joseph et al. 2021).

Umumnya aplikasi biochar meningkatkan biomassa akar, volume akar dan luas permukaan. Peningkatan panjang dan jumlah ujung akar jauh lebih besar daripada peningkatan diameter akar. Hasil ini menunjukkan bahwa aplikasi biochar bermanfaat bagi perkembangan morfologi akar untuk mengurangi kekurangan unsur hara dan air tanaman daripada memaksimalkan akumulasi biomassa (Xiang et al. 2017). Pengaruh biochar terhadap perkembangan akar sangat penting bagi pertumbuhan tanaman hasil transplanting yang diaplikasi biochar di dasar lubang tanam.

Vijay et al. (2021) menyimpulkan dari hasil review bahwa peningkatan hasil panen karena penambahan biochar terlihat jelas di tanah yang kurang subur, asam, dan pelapukan tinggi di daerah tropis dibandingkan di daerah beriklim sedang. Pengaruh positif ini terutama disebabkan oleh kemampuannya untuk menetralkan pH

tanah (efek pengapuran) dan perbaikan sifat fisika, kimia dan biologi tanah. Efek negatif dari aplikasi biochar pada hasil panen sebagian besar dilaporkan di daerah beriklim sedang karena biochar secara signifikan meningkatkan pH tanah yang menyebabkan efek “pengapuran berlebihan” yang mengakibatkan immobilisasi nutrisi seperti Mg, Fe, B, dan P.

Acharya et al. (2022) melaporkan hasil positif aplikasi biochar terhadap performa agronomi dengan perlakuan 3 formulasi biochar campuran (campuran pupuk NPK, vermikompos, pupuk kandang), 2 formulasi biochar diperkaya (diperkaya urine sapi, diperkaya larutan NPK, dan perlakuan kontrol (dipupuk NPK dosis rekomendasi, tanpa pupuk). Hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan pupuk organik berbasis biochar, seperti biochar diperkaya urine dan biochar diperkaya pupuk kandang, dapat mengungguli pupuk mineral sesuai rekomendasi dan memberikan hasil yang lebih tinggi dan tanah yang sehat.

Schmidt et al. (2017) melaporkan aplikasi biochar yang diperkaya larutan pupuk NPK atau urine sapi yang dicampurkan ketika pirolisis berjalan 1 jam sehingga diperoleh pupuk berbasis biochar yang mengandung 60–100 kg N, 5–60 kg P₂O₅ and 60–100 kg K₂O per ton biochar.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa biochar yang diperkaya nutrisi meningkatkan hasil dibandingkan dengan kontrol tanpa biochar (hanya aplikasi pupuk dengan jumlah NPK yang sama). Biochar yang diperkaya dengan NPK terlarut menghasilkan rata-rata 20% hasil yang lebih tinggi daripada pemupukan NPK standar tanpa biochar. Biochar yang diperkaya urine sapi yang dicampur dengan kompos menghasilkan rata-rata 123% hasil yang lebih tinggi dibandingkan dengan praktik petani organik dengan kompos yang dicampur urine sapi. Hasil percobaan lapangan ini dengan kuat mengungkapkan bahwa aplikasi zona akar dosis rendah dari pupuk organik berbasis biochar yang diperkaya menyebabkan peningkatan hasil

yang substansial pada tanah lempung debu yang agak subur dibandingkan dengan pemupukan organik tradisional dan pemupukan mineral NPK atau NPK-biochar.

Alarefee et al. (2021) melaporkan aplikasi biochar yang dikomposkan dengan pupuk kandang selama 14 minggu. Hasil menunjukkan bahwa perlakuan pupuk kandang dan biochar diperkaya pupuk kandang meningkatkan pertumbuhan tanaman daripada kontrol (tanpa perlakuan) dan perlakuan hanya aplikasi biochar.

Penanaman terus menerus satu jenis tanaman akan menguras sumberdaya lahan yang menyebabkan produktivitas terus menurun meskipun dipupuk sesuai rekomendasi yang disebut Evizal dan Prasmatiwi (2022) sebagai gejala pertanian degeneratif. Kimetu et al. (2008) melaporkan pemberian bahan organik membalikkan penurunan produktivitas dengan meningkatkan hasil sebesar 57-167%. Tanggapan hasil jagung terhadap pupuk hijau (kaya nutrisi) adalah 110% lebih besar daripada serbuk gergaji karena miskin nutrisi. Penambahan biochar dan pemupukan sesuai rekomendasi pada lokasi yang paling terdegradasi mampu melipatgandakan hasil jagung yang dapat menyamai respons terhadap penambahan pupuk hijau.

KESIMPULAN

Biochar adalah padatan kaya karbon yang dihasilkan dari pirolisis biomassa seperti kayu, pupuk kandang, ranting dan daun di bawah suhu tinggi dan kondisi oksigen rendah yang digunakan untuk aplikasi pertanian sebagai bahan pembenah tanah. Aplikasi biochar ke dalam tanah dapat memperbaiki sifat fisika, kimia, dan biologi tanah yaitu dapat meningkatkan porositas, kapasitas memegang air, agregasi tanah, meningkatkan pH, kapasitas tukar kation, karbon organik tanah, retensi dan ketersediaan hara, dan meningkatkan kehidupan mikroba, meso dan makro fauna

tanah. Selain sebagai pembenah tanah, biochar memiliki fungsi pada isu pemanasan global, perubahan iklim, dan lingkungan yaitu berperan pada sekuestrasi dan stabilisasi karbon, emisi gas rumah kaca, dan remediasi polutan tanah. Apabila biochar diaplikasikan secara tepat yaitu menggunakan bahan, metode pembuatan, dosis, cara aplikasi, dan tempat yang tepat maka akan berpengaruh meningkatkan performa agronomi dan hasil tanaman. Hasil panen yang turun sebagian besar dilaporkan di daerah beriklim sedang karena biochar secara signifikan meningkatkan pH tanah yang menyebabkan efek pengapuran berlebihan yang mengakibatkan immobilisasi nutrisi seperti Mg, Fe, B, dan P. Agar pengaruh positif dalam meningkatkan pertumbuhan dan hasil segera terlihat maka aplikasi biochar perlu dicampur atau diaplikasikan bersamaan dengan bahan pupuk seperti pupuk kimia, pupuk hayati, kompos, pupuk kandang. Upaya lain adalah dengan pengayaan biochar dengan bahan-bahan tersebut sehingga biochar dikategorikan sebagai pupuk berbasis biochar sehingga memiliki harga jual yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Achakzai, A. G., S. Gul, A. H. Buriro, H. Khan, A. Mushtaq, A. Bano, S. Agha, K. Kamran, Z. Ponya, and T. Ismail. 2023. "Biochar-Fertilizer Mixture: Does Plant Life History Trait Determine Fertilizer Application Rate?" *Environmental Pollutants and Bioavailability* 35 (1): 1–14. <https://doi.org/10.1080/26395940.2023.2170282>.
- Acharya, Nischal, Shree Prasad Vista, Shova Shrestha, Nabina Neupane, and Naba Raj Pandit. 2022. "Potential of Biochar-Based Organic Fertilizers on Increasing Soil Fertility, Available Nutrients, and Okra Productivity in Slightly Acidic Sandy Loam Soil." *Nitrogen* 4 (1): 1–15. <https://doi.org/10.3390/nitrogen4010001>.
- Alarefee, H. A., C. F. Ishak, D. S. Karam, and R. Othman. 2021. "Efficiency of Rice Husk Biochar with Poultry Litter Co-Composts in Oxisols for Improving Soil Physico-Chemical Properties and Enhancing Maize Performance." *Agronomy* 11 (12). <https://doi.org/10.3390/agronomy11122409>.
- Barrow, C. J. 2012. "Biochar: Potential for Countering Land Degradation and for Improving Agriculture." *Applied Geography* 34: 21–28. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.09.008>.
- Biederman, L. A., and W. S. Harpole. 2013. "Biochar and Its Effects on Plant Productivity and Nutrient Cycling a Meta-Analysis." *GCB Bioenergy* 5: 202–14.
- Chew, J., L. Zhu, S. Nielsen, E. Graber, D. R.G. Mitchell, J. Horvat, M. Mohammed, et al. 2020. "Biochar-Based Fertilizer: Supercharging Root Membrane Potential and Biomass Yield of Rice." *Science of the Total Environment* 713 (August 2019): 136431. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136431>.
- Evizal, R., and F. E. Prasmatiwi. 2022. "Gejala Produktivitas Rendah Dan Pertanian Degeneratif." *Jurnal Agrotropika* 21 (2): 75–85.
- Fitzpatrick, G. E., E. C. Worden, and W. A. Vendrame. 2005. "Historical Development of Composting Technology during the 20th Century." *HortTechnology* 15 (1): 48–51. <https://doi.org/10.21273/horttech.15.1.0048>.
- Haider, F. U., J. A. Coulter, L. Cai, S. Hussain, S. A. Cheema, J. Wu, and R. Zhang. 2022. "An Overview on Biochar Production, Its Implications, and Mechanisms of Biochar-Induced

- Amelioration of Soil and Plant Characteristics.” *Pedosphere* 32 (1): 107–30.
[https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(20\)60094-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60094-7).
- Hanisah, R. Evizal, F. Yelli, and Sugiatno. 2020. “Pengaruh Formulasi Biochar Dan Limbah Kulit Kopi Terhadap Pertumbuhan Bibit Kopi.” *Jurnal Agrotropika* 19 (2): 102–9.
- Hossain, M. Z., M. M. Bahar, B. Sarkar, S. W. Donne, Y. S. Ok, K. N. Palansooriya, M. B. Kirkham, S. Chowdhury, and N. Bolan. 2020. “Biochar and Its Importance on Nutrient Dynamics in Soil and Plant.” *Biochar* 2 (4): 379–420.
<https://doi.org/10.1007/s42773-020-00065-z>.
- Hussain, M., M. Farooq, A. Nawaz, A. M. Al-Sadi, Z. M. Solaiman, S. S. Alghamdi, U. Ammara, Y. S. Ok, and K. H. M. Siddique. 2017. “Biochar for Crop Production: Potential Benefits and Risks.” *Journal of Soils and Sediments* 17 (3): 685–716.
<https://doi.org/10.1007/s11368-016-1360-2>.
- Iskandar, I., and K.D. Santoso. 2005. *Panduan Singkat Cara Pembuatan Arang Kayu: Alternatif Pemanfaatan Limbah Kayu Oleh Masyarakat*. CIFOR. Bogor.
<https://doi.org/10.17528/cifor/001804>.
- Jaborova, D., K. Annapurna, R. Choudhary, S. N. Bhowmik, S. E. Desouky, S. Selim, I. H. El Azab, M. M. A. Hamada, N. El Nahhas, and A. Elkelish. 2021. “Interactive Impact of Biochar and Arbuscular Mycorrhizal on Root Morphology, Physiological Properties of Fenugreek (*Trigonella Foenum-Graecum* L.) and Soil Enzymatic Activities.” *Agronomy* 11 (11): 1–16.
<https://doi.org/10.3390/AGRONOMY11112341>.
- Joseph, S., A. L. Cowie, L. Van Zwieten, N. Bolan, A. Budai, W. Buss, M. L. Cayuela, et al. 2021. “How Biochar Works, and When It Doesn’t: A Review of Mechanisms Controlling Soil and Plant Responses to Biochar.” *GCB Bioenergy* 13 (11): 1731–64.
<https://doi.org/10.1111/gcbb.12885>.
- Kammann, C. I., H. P. Schmidt, N. Messerschmidt, S. Linsel, D. Steffens, C. Müller, H. W. Koyro, P. Conte, and J. Stephen. 2015. “Plant Growth Improvement Mediated by Nitrate Capture in Co-Composted Biochar.” *Scientific Reports* 5: 1–13.
<https://doi.org/10.1038/srep11080>.
- Kang, Z., X. Jia, Y. Zhang, X. Kang, M. Ge, D. Liu, C. Wang, and Z. He. 2022. “A Review on Application of Biochar in the Removal of Pharmaceutical Pollutants through Adsorption And” 14: 1–25.
- Kern, D. C., H. P. Lima, J. A. da Costa, H. V. de Lima, A. B. Ribeiro, B. M. Moraes, and N. Kämpf. 2017. “Terras Pretas: Approaches to Formation Processes in a New Paradigm.” *Geoarchaeology* 32 (6): 694–706.
<https://doi.org/10.1002/gea.21647>.
- Kimetu, J. M., J. Lehmann, S. O. Ngoze, D. N. Mugendi, J. M. Kinyangi, S. Riha, L. Verchot, J. W. Recha, and A. N. Pell. 2008. “Reversibility of Soil Productivity Decline with Organic Matter of Differing Quality along a Degradation Gradient.” *Ecosystems* 11 (5): 726–39.
<https://doi.org/10.1007/s10021-008-9154-z>.
- Kulkarni, M. G., M. E. Light, and J. Van Staden. 2011. “Plant-Derived Smoke: Old Technology with Possibilities for Economic Applications in Agriculture and Horticulture.” *South African Journal of Botany* 77 (4): 972–79.
<https://doi.org/10.1016/j.sajb.2011.08.006>.
- Langeroodi, A. S., P. Tedeschi, E. Allevato, S. R. Stazi, R. M. Aadil, R. Mancinelli, and E. Radicetti. 2022. “Agronomic Response of Sunflower Subjected to

- Biochar and Arbuscular Mycorrhizal Fungi Application under Drought Conditions.” *Italian Journal of Agronomy* 17 (3): 2086. <https://doi.org/10.4081/ija.2022.2086>.
- Lehmann, J., and S. Joseph. 2015. “Biochar for Environmental Management: An Introduction.” In *Biochar for Environmental Management*, edited by J. Lehman and S. Joseph, 1–13. London: Taylor and Francis.
- Lehmann, J., Y. Kuzyakov, G. Pan, and Y. S. Ok. 2015. “Biochars and the Plant-Soil Interface.” *Plant and Soil* 395: 1–5. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2658-3>.
- Liu, Xiangrong, Jiayuan Liao, Haixing Song, Yong Yang, Chunyun Guan, and Zhenhua Zhang. 2019. “A Biochar-Based Route for Environmentally Friendly Controlled Release of Nitrogen: Urea-Loaded Biochar and Bentonite Composite.” *Scientific Reports* 9 (1): 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46065-3>.
- Nurida, N. L. 2014. “Potensi Pemanfaatan Biochar Untuk Rehabilitasi Lahan Kering Di Indonesia (Potency of Utilizing Biochar for Dryland Rehabilitation in Indonesia).” *Jurnal Sumberdaya Lahan Edisi Khusus*, 57–68.
- Nurida, N. L., A. Rachman, and S. Sutono. 2015. *Biochar Pembenh Tanah Yang Potensial*. Jakarta: Balai Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Oni, B. A., O. Oziegbe, and O. O. Olawole. 2019. “Significance of Biochar Application to the Environment and Economy.” *Annals of Agricultural Sciences* 64 (2): 222–36. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2019.12.006>.
- Phares, C. A., E. Amoakwah, A. Danquah, A. Afrifa, L. R. Beyaw, and K. A. Frimpong. 2022. “Biochar and NPK Fertilizer Co-Applied with Plant Growth Promoting Bacteria (PGPB) Enhanced Maize Grain Yield and Nutrient Use Efficiency of Inorganic Fertilizer.” *Journal of Agriculture and Food Research* 10 (May): 100434. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100434>.
- Rombel, Aleksandra, Patrycja Krasucka, and Patryk Oleszczuk. 2022. “Sustainable Biochar-Based Soil Fertilizers and Amendments as a New Trend in Biochar Research.” *Science of the Total Environment* 816: 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151588>.
- Schmidt, H., C. Kammann, N. Hagemann, J. Leifeld, T. D. Bucheli, M. A. S. Monedero, and M. L. Cayuela. 2021. “Biochar in Agriculture A Systematic Review of 26 Global Meta-analyses.” *GCB Bioenergy* 13: 1708–30.
- Schmidt, H. P., C. Kammann, C. Niggli, M. W.H. Evangelou, K. A. Mackie, and S. Abiven. 2014. “Biochar and Biochar-Compost as Soil Amendments to a Vineyard Soil: Influences on Plant Growth, Nutrient Uptake, Plant Health and Grape Quality.” *Agriculture, Ecosystems and Environment* 191 (June): 117–23. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.04.001>.
- Schmidt, H. P., B. H. Pandit, G. Cornelissen, and C. I. Kammann. 2017. “Biochar-Based Fertilization with Liquid Nutrient Enrichment: 21 Field Trials Covering 13 Crop Species in Nepal.” *Land Degradation and Development* 28 (8): 2324–42. <https://doi.org/10.1002/ldr.2761>.
- Schmidt, H. P., B. H. Pandit, V. Martinsen, G. Cornelissen, P. Conte, and C. I. Kammann. 2015. “Fourfold Increase in Pumpkin Yield in Response to Low-Dosage Root Zone Application of Urine-Enhanced Biochar to a Fertile Tropical Soil.” *Agriculture (Switzerland)* 5 (3): 723–41. <https://doi.org/10.3390/agriculture5030723>.

- Septiana, L. M., G. Djajakirana, and Darmawan. 2018. "Characteristics of Biochars from Plant Biomass Wastes at Low-Temperature Pyrolysis." *Sains Tanah - Journal of Soil Science and Agroclimatology* 15 (1): 15–28. <https://doi.org/10.15608/stjssa.v15i1.21618>.
- Sheil, D., I. Basuki, L. German, T. W. Kuyper, G. Limberg, R. K. Puri, B. Sellato, M. van Noordwijk, and E. Wollenberg. 2012. "Do Anthropogenic Dark Earths Occur in the Interior of Borneo? Some Initial Observations from East Kalimantan." *Forests* 3 (2): 207–29. <https://doi.org/10.3390/f3020207>.
- Solomon, D., J. Lehmann, J. A. Fraser, M. Leach, K. Amanor, V. Frausin, S. M. Kristiansen, D. Millimouno, and J. Fairhead. 2016. "Indigenous African Soil Enrichment as a Climate-Smart Sustainable Agriculture Alternative." *Frontiers in Ecology and the Environment* 14 (2): 71–76. <https://doi.org/10.1002/fee.1226>.
- Tan, X., Y. Liu, G. Zeng, X. Wang, X. Hu, Y. Gu, and Z. Yang. 2015. "Application of Biochar for the Removal of Pollutants from Aqueous Solutions." *Chemosphere* 125: 70–85. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.12.058>.
- Thiele-Bruhn, S., P. Leinweber, K. U. Eckhardt, H. K. Siem, and H. P. Blume. 2014. "Chernozem Properties of Black Soils in the Baltic Region of Germany as Revealed by Mass-Spectrometric Fingerprinting of Organic Matter." *Ganoderma* 213: 144–54.
- Vijay, V., S. Shreedhar, K. Adlak, S. Payyanad, V. Sreedharan, G. Gopi, T. S. van der Voort, et al. 2021. "Review of Large-Scale Biochar Field-Trials for Soil Amendment and the Observed Influences on Crop Yield Variations." *Frontiers in Energy Research* 9 (August). <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.710766>.
- Wang, J., L. Shi, L. Zhai, H. Zhang, S. Wang, J. Zou, Z. Shen, C. Lian, and Y. Chen. 2021. "Analysis of the Long-Term Effectiveness of Biochar Immobilization Remediation on Heavy Metal Contaminated Soil and the Potential Environmental Factors Weakening the Remediation Effect: A Review." *Ecotoxicology and Environmental Safety* 207: 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111261>.
- Xiang, Y., Q. Deng, H. Duan, and Y. Guo. 2017. "Effects of Biochar Application on Root Traits: A Meta-Analysis." *GCB Bioenergy* 9 (10): 1563–72. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12449>.