

REVIEW: PEMANFAATAN BIOCHAR UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS TANAH DAN PRODUKTIVITAS TEBU

A REVIEW: THE UTILIZATION OF BIOCHAR TO IMPROVE SOIL QUALITY AND SUGARCANE PRODUCTIVITY

¹Rivandi Pranandita Putra¹, Vita Ayu Kusuma Dewi², Muhammad Rasyid Ridla Ranomahera³, Nindya Arini⁴, Amnan Haris⁵

^{1,3}Bagian Penelitian Pra Panen Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia

²Departemen Teknik Sipil, Universitas Negeri Malang

⁴Fakultas Pertanian Universitas Muria Kudus

⁵Fakultas MIPA Universitas Negeri Semarang

ABSTRACT

Biochar is a solid material resulting from biomass carbonization which is generally made through a pyrolysis process, namely the thermal decomposition of biomass under anoxic conditions. Various previous studies have shown that biochar can have multiple positive impacts on soil quality and sugar cane productivity. Biochar can increase plant growth and development through several mechanisms, namely increasing nutrient use efficiency, increasing the amount and availability of nutrients, reducing nutrient leaching and nutrient loss through evaporation, promoting plant growth hormones, and reducing salinity stress. What is interesting is that improving the physical, chemical, and biological quality of soil by biochar allows for reducing the dose of inorganic fertilizer that must be applied to sugarcane. Biochar can be made from various local materials, including unused sugar cane biomass (dry leaves, stem shoots, litter, etc.) and sugar factory waste. Biochar can be applied together with various other materials, such as organic, biological, and inorganic fertilizers to create a more positive synergistic effect on soil quality and plant growth and development. The results of the strength-weakness-opportunity-threat (SWOT) analysis show that the advantages of using biochar based on sugar cane biomass and sugar factory waste, are 1) it is cheap and easy to obtain, 2) contributes to reducing the volume of waste, 3) is one of the carbon sequestration methods effective, and 4) can improve the physical, chemical and biological quality of the soil. The disadvantages are 1) it requires high costs for collection, storage, and transportation to the field and 2) there is high variability in the content of biochar-making materials and soil conditions. Opportunities include the need for farmers to reduce production costs, including fertilizer costs, and increasing awareness of various parties regarding environmental issues, for example about the importance of carbon sequestration and environmentally friendly agriculture. Meanwhile, the threat is that biochar production on a large scale still seems difficult and some farmers still lack confidence or trust in biochar products..

Key-words: biochar, sugarcane biomass, sugar mill waste

INTISARI

Biochar merupakan material padat hasil karbonisasi biomassa yang umumnya dibuat melalui proses pirolisis yaitu dekomposisi termal biomassa di bawah kondisi anoksik. Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa *biochar* dapat memberikan berbagai dampak positif terhadap kualitas tanah dan produktivitas tebu. *Biochar* dapat meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman melalui beberapa mekanisme yaitu peningkatan *nutrient use efficiency*, peningkatan jumlah dan ketersediaan unsur hara, penurunan pencucian hara dan kehilangan hara melalui evaporasi, promosi hormon pertumbuhan tanaman, serta berkontribusi pada pengurangan cekaman salinitas. Hal yang menarik adalah bahwa peningkatan kualitas fisik, kimia, dan biologi tanah oleh *biochar* memungkinkan pengurangan dosis pupuk anorganik yang harus diberikan untuk tebu. *Biochar* dapat dibuat dari berbagai material lokal, termasuk dari biomassa tebu yang

¹ Correspondence author: Rivandi Pranandita Putra. Email: rivandiprananditap@gmail.com

tidak terpakai (daun kering, pucuk batang, serasah, dll) maupun limbah pabrik gula. *Biochar* dapat diaplikasikan bersamaan dengan berbagai bahan lainnya, seperti pupuk organik, hayati, dan anorganik dengan tujuan untuk menciptakan efek sinergistik yang lebih positif terhadap kualitas tanah serta pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Hasil analisis *strength-weakness-opportunity-threat* (SWOT) menunjukkan bahwa kelebihan dari pemanfaatan *biochar* berbasis biomassa tebu dan limbah pabrik gula, yaitu 1) murah dan mudah didapatkan, 2) berkontribusi terhadap pengurangan volume limbah, 3) merupakan salah satu metode sekuestrasi karbon yang efektif, dan 4) dapat meningkatkan kualitas fisik, kimia, dan biologi tanah. Kekurangannya yaitu 1) memerlukan biaya tinggi untuk pengumpulan, penyimpanan, dan transportasi ke lapang dan 2) variabilitas tinggi dari kandungan material pembuat *biochar* dan kondisi tanah. Hal yang menjadi peluang adalah kebutuhan petani untuk mengurangi biaya produksi termasuk biaya pupuk dan meningkatnya kesadaran berbagai pihak mengenai isu lingkungan, misal tentang pentingnya sekuestrasi karbon dan pertanian ramah lingkungan. Sementara itu, hal yang menjadi ancaman adalah produksi *biochar* dalam skala besar nampaknya masih sulit dilakukan dan beberapa kalangan petani masih kurang yakin atau kurang percaya terhadap produk *biochar*.

Kata kunci: *Biochar*, Biomassa tebu, Limbah pabrik gula

PENDAHULUAN

Tebu (*Saccharum officinarum* L.) merupakan salah satu komoditas strategis di Indonesia dan juga di dunia, yaitu sebagai tanaman penghasil gula utama. Statistik menunjukkan bahwa kebutuhan gula berbasis tebu di Indonesia terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun, baik untuk gula konsumsi langsung maupun untuk kebutuhan bahan baku industri makanan dan minuman. Sayangnya, peningkatan kebutuhan ini tidak dibarengi dengan peningkatan produksi gula nasional. Sisa kebutuhan gula nasional masih harus dipenuhi melalui impor. Pemerintah sendiri telah mencanangkan berbagai program untuk mewujudkan swasembada gula nasional, baik melalui intensifikasi maupun ekstensifikasi.

Program intensifikasi salah satunya dapat dilakukan melalui peningkatan kesuburan tanah dengan cara pemupukan. Di tingkat petani tebu rakyat maupun pabrik gula, salah satu masalah utama yang mereka hadapi adalah harga pupuk yang mahal dan kelangkaan pupuk di beberapa daerah di Indonesia. Padahal, tebu merupakan jenis tanaman yang memerlukan unsur hara dalam jumlah yang cukup besar sehingga pemupukan menjadi hal krusial untuk dilakukan secara tepat waktu. Kegiatan budidaya tebu yang diusahakan secara terus-menerus yang diiringi dengan penggunaan pupuk anorganik tanpa diimbangi usaha

pengembalian bahan organik ke dalam tanah, dapat mengakibatkan penurunan kandungan bahan organik tanah dengan cepat, sehingga produktivitas tanahnya menjadi semakin rendah (Fangohoy & Wandansari, 2017).

Salah satu alternatif untuk mengurangi ketergantungan terhadap pupuk anorganik adalah dengan penambahan *biochar* ke lahan tebu. *Biochar* adalah bahan padat yang diperoleh dari hasil proses karbonisasi biomassa. *Biochar* merupakan substansi arang yang berpori, sering juga disebut charcoal yang berasal dari makhluk hidup khususnya dari tumbuhan. *Biochar* dihasilkan dari proses pirolisis, yaitu dekomposisi termal biomassa di bawah kondisi anoksik (Lehmann *et al.*, 2006). Pirolisis merupakan proses pengarangan dengan cara pembakaran tidak sempurna yang mengandung karbon pada suhu tinggi. Kebanyakan proses pirolisis menggunakan reaktor tertutup yang terbuat dari baja, sehingga bahan tidak terjadi kontak langsung dengan oksigen. Proses ini berlangsung pada temperatur di atas 300°C dalam waktu empat hingga tujuh jam (Asyifa *et al.*, 2019).

PENGARUH BIOCHAR TERHADAP KUALITAS TANAH

Biochar memiliki peranan yang cukup besar dalam meningkatkan kualitas tanah. Kualitas tanah yang dimaksud mencakup tiga aspek, antara lain aspek fisik,

kimia, dan biologi tanah (Putra *et al.*, 2020). Berbagai penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa *biochar* dapat membantu memperbaiki kualitas tanah pada ketiga aspek tersebut.

Apabila dilihat dari aspek fisik tanah, berbagai studi sebelumnya telah membuktikan bahwa amandemen *biochar* dapat meningkatkan struktur tanah (Juriga *et al.*, 2018; Qian *et al.*, 2020), meningkatkan porositas tanah (Jin *et al.*, 2020; Qian *et al.*, 2020), memperbaiki bobot isi tanah (Asai *et al.*, 2009; Lei & Zhang, 2013; Qian *et al.*, 2020), memperbaiki konduktivitas hidrolis tanah (Asai *et al.*, 2009), serta meningkatkan infiltrasi tanah (Novak *et al.*, 2016).

Biochar juga diketahui dapat membantu meningkatkan retensi air tanah (Basso *et al.*, 2013; Yu *et al.*, 2013; Ulyett *et al.*, 2014; Haider *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2017; Ni *et al.*, 2018; Kuo *et al.*, 2020). *Biochar* meningkatkan retensi air dengan cara menyumbangkan intrapori (pori-pori internal di dalam *biochar*) dan mengubah interpori (pori-pori antara *biochar* dan partikel padat), dengan air tertahan oleh gaya kapiler dan penyerapan (Nakhli *et al.*, 2019; Yi *et al.*, 2020). Seperti diketahui, pertumbuhan dan produksi tebu (*Saccharum officinarum* L.) sangat dipengaruhi oleh ketersediaan air (Ranomahera *et al.*, 2020a; Ranomahera *et al.*, 2020b). Apalagi di Indonesia, tebu banyak dibudidayakan di lahan kering (Riajaya, 2020).

Ditinjau dari aspek kimia tanah, diketahui bahwa *biochar* berperan dalam peningkatan kesuburan tanah. Berbagai penelitian terdahulu telah menguji dampak positif kombinasi *biochar* dan pupuk anorganik terhadap peningkatan zat hara dan mineral tanah (da Silva *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2017; Mensah & Frimpong, 2017; Petter *et al.*, 2019; Ahmad *et al.*, 2020; Kuo *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2021). Seperti diketahui, tebu membutuhkan unsur hara dalam jumlah yang cukup untuk dapat tumbuh dan berkembang secara optimal (Puspitasari *et al.*, 2023).

Biochar juga merupakan salah satu metode sequestrasi karbon yang efektif. Dengan mengkonversi material organik menjadi *biochar*, maka sebagian besar karbon (C) yang terkandung dalam material tersebut tidak akan menguap ke udara (sebagai CO₂). Misalnya, Tafti *et al.* (2021) menemukan bahwa aplikasi *biochar* meningkatkan kandungan karbon tanah sebesar 15%.

Adapun rentang dosis aplikasi *biochar* yang digunakan dalam berbagai studi sebelumnya bervariasi, antara lima hingga sepuluh ton/ha (Utami, 2014; Syaikh *et al.*, 2016; Tohir, 2016; Widyawati, 2016; Dinarsih, 2019; Hariyono *et al.*, 2020). Ada juga penelitian yang menguji dosis *biochar* hingga 30 ton/ha (Lestari, 2023) dan 45 ton/ha (Islami, 2021).

Aplikasi *biochar* tidak hanya berperan sebagai pembenah tanah namun juga sebagai pupuk organik (Subedi *et al.*, 2016), terutama pada lahan yang terdegradasi dan memiliki kesuburan rendah. Dengan amandemen *Biochar*, diharapkan dosis pupuk anorganik yang harus diberikan untuk tebu dapat dikurangi. Lestari (2023) menemukan bahwa penambahan *biochar* sebanyak 20 ton/ha atau 80 g/polibag dapat mengurangi dosis pupuk NPK rekomendasi pada tebu yaitu 2,4 g/polibag menjadi 1,6 g/polibag.

Meskipun demikian, perlu juga dipahami bahwa *biochar* tidak banyak mengandung unsur hara sehingga sebaiknya kita memandang fungsi utama *biochar* adalah sebagai bahan pembenah tanah dan bukan sebagai penambah hara yang nyata sebagaimana pupuk. Hal ini karena bahan utama penyusun *biochar* adalah karbon. Untuk mencukupi kebutuhan hara tanaman, mungkin tetap dibutuhkan penambahan hara melalui pupuk anorganik maupun organik (Hariyono, 2021). Adapun kebutuhan hara di setiap lahan pertanian atau perkebunan hendaklah disesuaikan dengan hasil uji kimia tanah di laboratorium atau melalui uji cepat di lapang.

Amandemen tanah dengan *biochar* juga dapat meningkatkan kapasitas tukar

kation/KTK (Jien & Wang, 2013; da Silva *et al.*, 2017; Mensah & Frimpong, 2017), meningkatkan pH tanah (Uzoma *et al.*, 2011; da Silva *et al.*, 2017; Mensah & Frimpong, 2017; Zhang *et al.*, 2019; Kuo *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2021), mengurangi keasaman tanah yang dapat ditukar (*exchangeable soil acidity*) (Mensah & Frimpong, 2017), serta mengurangi pencucian zat hara (*nutrient leaching*) (Yao *et al.*, 2012; Haider *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2017; Kuo *et al.*, 2020; Rubin *et al.*, 2020; Karhu *et al.*, 2021).

Di samping itu, penambahan *biochar* ke dalam tanah juga dapat meningkatkan ketahanan tanah terhadap cekaman lingkungan (Keller *et al.*, 2023). *Biochar* juga diketahui memiliki kemampuan untuk menyerap polutan seperti timbal (Pb), tembaga (Cu), nikel (Ni), kromium (Cr), dioksin, atrazin, dan mengurangi masalah-masalah lingkungan seperti hipoksia, *eutrofikasi*, dan ledakan alga (Berek, 2014; Zhen *et al.*, 2020).

Bila ditinjau dari aspek biologis, *biochar* diketahui dapat meningkatkan populasi dan aktivitas mikroba tanah (Lei & Zhang, 2013; Zhang *et al.*, 2014; Hairani *et al.*, 2016; Tu *et al.*, 2020; Zainudin *et al.*, 2020; Zhen *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2021) dan menekan patogen tanah (Jaiswal *et al.*, 2017; Chen *et al.*, 2020). Tanah yang mengandung *biochar* dapat menyediakan habitat yang baik bagi mikroba tanah misalnya untuk bakteri yang membantu dalam perombakan unsur hara sehingga unsur hara tersebut dapat diserap optimal oleh tanaman (Kurniawan *et al.*, 2016). Peningkatan kuantitas komunitas mikroba tanah setelah amandemen *biochar* sejalan dengan perbaikan sifat fisikokimia tanah (Zainudin *et al.*, 2020). Selanjutnya, peningkatan aktivitas mikroba tanah melalui amandemen *biochar* juga dapat menjadi strategi yang efektif dalam memulihkan tanah yang tercemar (Zhen *et al.*, 2020), selain karakteristik alami *biochar* sebagai penyerap polutan (Srivatsav *et al.*, 2020).

PENGARUH *BIOCHAR* TERHADAP PERTUMBUHAN TEBU

Dalam bidang pertanian, *biochar* secara luas diketahui memberikan berbagai efek positif terhadap kualitas tanah, produksi tanaman, dan bahkan mitigasi dan adaptasi iklim. Berbagai studi sebelumnya menemukan bahwa *biochar* dapat meningkatkan performa tanaman melalui beberapa mekanisme, antara lain peningkatan *nutrient use efficiency* (Hussain *et al.*, 2017), peningkatan jumlah dan ketersediaan unsur hara, penurunan pencucian hara dan kehilangan hara melalui penguapan (Ding *et al.*, 2016), peningkatan fiksasi nitrogen biologis pada legum (Rondon *et al.*, 2007; Egamberdieva *et al.*, 2020), dan promosi hormon pertumbuhan tanaman.

Dalam sebuah penelitian menggunakan *biochar* dari ampas tebu, Chen *et al.* (2010) menemukan bahwa *biochar* mengurangi kepadatan kering tanah dan meningkatkan kadar air tanah yang pada akhirnya berujung pada peningkatan hasil dan rendemen tebu. Liao *et al.* (2019) menemukan bahwa aplikasi *biochar* berpengaruh positif terhadap pertumbuhan tebu, laju bersih fotosintesis tanaman tebu, serta pemanfaatan unsur hara oleh tanaman. Dalam sebuah penelitian lapang pada lahan terdegradasi di Blitar, Jawa Timur selama tiga tahun, Islami *et al.* (2015) menemukan bahwa aplikasi *biochar* berbahan baku blotong dan abu ketel tebu ternyata mampu meningkatkan status kesuburan tanah, yang kemudian diikuti dengan peningkatan hasil tebu serta kadar gula (rendemen).

Beberapa penelitian juga melaporkan bahwa amandemen *biochar* dapat berkontribusi pada pengurangan dampak negatif cekaman salinitas terhadap pertumbuhan tanaman (Thomas *et al.*, 2013; Farhangi-Abriz *et al.*, 2018; Karabay *et al.*, 2021; Kul *et al.*, 2021). Hal ini karena *biochar* berperan mengurangi serapan natrium oleh tanaman dengan cara mempertahankannya (peningkatan sementara Na^+), mengurangi tekanan osmotik dengan menjaga kadar air tanah, dan melepaskan mineral seperti K^+ ,

Ca^{2+} , dan Mg^{2+} pada lingkungan tanah (Akhtar *et al.*, 2015; Awan *et al.*, 2021).

Dalam sebuah percobaan pot di rumah kaca, Vu *et al.* (2023) menemukan bahwa aplikasi *biochar* meningkatkan tinggi tanaman, berat kering pucuk, volume akar, berat kering akar, efisiensi kuantum fotosistem II (Fv/Fm), dan kandungan klorofil tanaman tebu sekaligus menurunkan defisit saturasi air dan kebocoran ion relatif pada daun, baik dalam kondisi salin maupun non-salin. Mereka menyimpulkan bahwa aplikasi *biochar* memberikan dampak positif terhadap pertumbuhan dan fisiologi tebu pada tahap awal pertumbuhan, baik dalam kondisi salin maupun non-salin. Tidak hanya meningkatkan pertumbuhan dan produksi tebu, *biochar* juga dapat meningkatkan kualitas tebu. Salah satu masalah industri gula di Indonesia adalah kualitas tebu giling yang rendah (Puspitasari *et al.*, 2024). Lima & White (2017) menemukan bahwa amandemen *biochar* ampas tebu dan serasah tebu dengan dosis 4% secara konsisten mampu meningkatkan hasil tebu dan rendemen. Aplikasi *Biochar* secara konsisten menghasilkan peningkatan baik total hasil tebu maupun total gula.

Hal yang perlu diperhatikan adalah adanya variabilitas tinggi dari kandungan material pembuat *biochar* dan kondisi tanah yang berpengaruh terhadap perbedaan efek aplikasi *biochar*. Artinya, *biochar* yang dibuat dari material tertentu bisa jadi memberikan efek yang berbeda terhadap sifat tanah dan pertumbuhan tanaman dengan *biochar* yang dibuat dari material lainnya. Begitu pun kondisi tanah yang berbeda-beda dapat berpengaruh terhadap efektivitas pemberian *biochar* yang juga berbeda-beda, meski dibuat dari material dan jumlah yang sama.

APLIKASI BIOCHAR DENGAN BAHAN LAIN

Aplikasi *biochar* tidak harus dilakukan sendiri, namun dapat pula dilakukan bersamaan dengan bahan lainnya. Misalnya, aplikasi *biochar* bersamaan dengan pupuk organik. Borges *et al.* (2020)

menyatakan bahwa *biochar* dapat diperkaya dengan unsur hara yang berasal dari pupuk sehingga dapat meningkatkan hasil tanaman. Aplikasi *biochar* yang didampingi dengan bahan lain diharapkan dapat menimbulkan efek sinergistik yang lebih positif terhadap kualitas tanah serta pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

Hu *et al.* (2024) menunjukkan bahwa aplikasi *biochar* dan pupuk organik secara signifikan meningkatkan kelimpahan taksa fungsional mikroba tanah yang terkait dengan siklus C-N-P-S. Mereka juga menemukan bahwa kombinasi *biochar* dan pupuk organik menunjukkan peningkatan yang lebih baik pada indikator-indikator tersebut dibandingkan dengan penggunaan *biochar* atau pupuk organik secara individual. Aplikasi *biochar* bersamaan dengan pupuk organik dan pupuk anorganik seperti nitrogen dan fosfat, dapat memberikan hasil tanaman yang lebih tinggi dibandingkan aplikasi individual *biochar* atau pupuk organik dan anorganik (Shareef *et al.*, 2017; Vista *et al.*, 2017). Liu *et al.* (2022) menemukan bahwa *Biochar* dosis rendah yang diaplikasikan bersamaan dengan setengah pupuk anorganik dan organik meningkatkan pertumbuhan kedelai. Chen *et al.* (2022) menemukan bahwa aplikasi bersama *biochar* dengan pupuk organik ternyata lebih menguntungkan, di mana karbon organik total dan unsur hara N, P, dan K serta hasil dan kualitas buah naga (*Hylocereus polyrhizus*) lebih tinggi pada perlakuan *biochar* dengan pupuk organik dibandingkan perlakuan tunggal *biochar* atau pupuk organik saja. Mereka menyarankan untuk mengaplikasikan 3% *biochar* dengan 45 ton/ha pupuk organik.

Pupuk organik yang digunakan dapat berupa kompos, pupuk hijau, maupun pupuk kandang yang berasal dari sisa panen (jerami, brangkas, tongkol jagung, bagas tebu, dan sabut kelapa), limbah ternak, hingga limbah kota (sampah dapur) (Azmi *et al.*, 2022). Pengomposan berbagai material organik tersebut dapat pula dilakukan dengan bantuan maggot dari *black soldier fly* (BSF) atau lalat

tentara hitam (*Hermetia illucens*). Material organik dapat diberikan kepada maggot BSF dengan siklus hidup sekitar 45 hari, di mana maggot selanjutnya akan memakan sampah tersebut dan menghasilkan kotoran yang dapat digunakan sebagai pupuk organik (Putra *et al.*, 2021b).

Selain pupuk organik, bahan lain yang dapat diberikan bersamaan dengan aplikasi *Biochar* adalah pupuk hayati. Pupuk hayati mengandung mikroorganisme hidup yang mampu mengkolonisasi *rhizosfer* atau bagian dalam tanaman serta memacu pertumbuhan tanaman dengan cara meningkatkan ketersediaan hara primer dan menstimulus pertumbuhan tanaman (Mahbub, 1999). Beberapa jenis pupuk hayati mengandung *plant growth promoting microbes* (PGPM) yang dapat menstimulasi pertumbuhan dan perkembangan tanaman melalui pengaturan hormon tanaman, produksi *siderophore*, dan meningkatkan penyerapan unsur hara oleh tanaman (Kumar & Verma, 2018). PGPM juga bermanfaat meningkatkan resistensi tanaman terhadap serangan hama dan patogen serta kondisi cekaman abiotik seperti kekeringan dan salinitas (Naik *et al.*, 2019). Keberadaan mikroba tanah juga berperan penting dalam siklus hara dan pembentukan agregat tanah (Rashid *et al.*, 2016).

PEMBUATAN BIOCHAR BERBASIS BIOMASSA TEBU DAN LIMBAH PABRIK GULA

Biochar dapat dibuat dari berbagai jenis material organik. Salah satunya adalah residu tanaman (Arifien *et al.*, 2022), termasuk dari biomassa tebu yang tidak terpakai, seperti daun kering (daduk), daun hijau, tunas tebu muda (sogolan), pucukan tebu, hingga sisa tunggul atau batang tebu hasil tebang yang tertinggal di lahan (Karve *et al.*, 2001; Misran, 2005). Tebu merupakan salah satu jenis tanaman yang memproduksi

biomassa dalam jumlah yang tinggi (de Oliveira *et al.*, 2018).

Selama ini, proses pemanenan tebu merupakan salah satu tahapan dalam budidaya tebu yang menyumbang kontribusi terhadap degradasi lahan berkaitan dengan penanganan limbah pascapanen yang tidak tepat. Sebagai contoh, daun tebu yang telah kering (daduk) yang dibiarkan di lahan atau dibakar karena proses dekomposisinya yang lama. Hal tersebut yang menyebabkan tanah menjadi marginal karena kurangnya pengembalian bahan organik ke tanah juga menyumbang emisi karbon di atmosfer (Astuti, 2019). Sementara itu, bila diolah menjadi *biochar*, sisa biomassa tebu yang tidak termanfaatkan tersebut dapat meningkatkan kesuburan tanah.

Biochar juga dapat dibuat dari material berupa limbah, termasuk limbah hasil pembuangan pabrik gula. Selama ini, pabrik gula menghasilkan berbagai limbah padat (*blotong*, ampas tebu, abu) maupun cair (air bekas kondensor, air cuci tapisan). *Biochar* dapat dibuat dari limbah padat (Dotaniya *et al.*, 2016). *Blotong* misalnya, merupakan limbah sisa pengolahan pabrik gula berwujud padat yang kaya unsur-unsur hara yang berguna untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Permana *et al.*, 2022).

Pemanfaatan limbah menjadi *biochar* merupakan bagian dari penerapan pertanian sirkuler, yaitu pemanfaatan kembali sisa limbah pertanian ke dalam sistem pertanian sebagai sumberdaya yang dapat diperbarui (Dewi *et al.*, 2022). Pembuatan *biochar* dapat menjadi solusi pembuangan limbah organik (Guo *et al.*, 2020).

Sementara itu, jika tidak diolah, limbah organik dapat memberikan berbagai dampak negatif terhadap aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi (Afrianto *et al.*, 2021; Darmayani *et al.*, 2023). Dengan demikian, pengolahan limbah organik menjadi *biochar* sekaligus menjadi solusi untuk menekan masalah pencemaran lingkungan.

Tabel 1. Analisis SWOT Pembuatan *Biochar* Berbasis Biomassa Tebu Dan Limbah Pabrik Gula

No	<i>Strengths/Kelebihan (S)</i>	<i>Weaknessess/Kelemahan (W)</i>
1	Bahan pembuatannya melimpah/mudah didapatkan.	Membutuhkan biaya tinggi untuk pengumpulan, penyimpanan, dan transportasi biomassa dalam produksi <i>biochar</i>
2	Jika limbah yang digunakan sebagai material pembuatan <i>Biochar</i> , maka berkontribusi terhadap pengurangan limbah sehingga mengurangi pencemaran lingkungan.	Variabilitas tinggi dari kandungan material pembuat <i>biochar</i> dan kondisi tanah yang berpengaruh terhadap perbedaan efek aplikasi <i>biochar</i> . Kandungan senyawa organik pada biomassa tebu dapat bervariasi pada kebun tebu yang berbeda, tergantung jenis dan jumlah unsur hara (pupuk) yang diberikan, praktik budidaya yang diterapkan, kondisi iklim yang berbeda, umur tanaman tebu saat panen, dan lain sebagainya (Putra <i>et al.</i> , 2021c). Begitu pula setiap jenis limbah pabrik gula yang tentunya memiliki kandungan kimia yang berbeda-beda.
3	Merupakan salah satu metode sekuestrasi karbon yang efektif.	
4	Dapat meningkatkan kualitas tanah, baik secara fisik, kimia, dan biologi.	
	<i>Opportunities/Peluang (O)</i>	<i>Threats/Ancaman (T)</i>
1	Kebutuhan petani untuk mengurangi biaya produksi pertanian, salah satunya kebutuhan pupuk.	Produksi <i>biochar</i> dalam skala besar masih sulit dilakukan.
2	Meningkatnya kesadaran berbagai pihak mengenai isu lingkungan, misal tentang pentingnya sekuestrasi karbon dan pertanian ramah lingkungan.	Beberapa kalangan petani masih kurang yakin atau kurang percaya terhadap produk <i>Biochar</i> , mengingat dampak positif <i>biochar</i> tidak dapat diperoleh secara instan (bisa jadi membutuhkan beberapa waktu sebelum menimbulkan dampak positif).

Sumber: Analisis Data Primer, 2024

Potensi pemanfaatan biomassa tebu dan limbah pabrik gula menjadi *biochar* selanjutnya dianalisis menggunakan metode SWOT (*Strength-Weakness-Opportunity-Threat*). Tabel 1 berikut menunjukkan hasil analisis SWOT terhadap pembuatan *biochar* berbasis biomassa tebu dan limbah pabrik gula.

Mengingat besarnya potensi *Biochar* dalam sektor pertanian dan perkebunan, *biochar* perlu untuk dilakukan pengembangan produksi dan penggunaannya. Dalam jangka panjang, dapat dilakukan penyuluhan pentingnya penggunaan *biochar* kepada para petani untuk menciptakan permintaan pasar dan merangsang mereka untuk memanfaatkan material organik yang ada di sekitar mereka

menjadi *biochar* untuk meningkatkan kualitas tanah dan produktivitas tanaman (Widiastuti, 2016). Agar efektif, penyuluhan perlu dilakukan baik secara langsung maupun melalui media daring (Afrianto *et al.*, 2022). Penyuluhan mengenai pentingnya penggunaan *biochar* juga perlu dilakukan melalui demplot untuk lebih menarik minat petani dalam menggunakan *biochar* (Widiastuti, 2016). Training juga dapat dilakukan, baik secara langsung maupun secara daring untuk meningkatkan pemahaman petani mengenai hal tersebut (Wati *et al.*, 2022). Di samping itu, riset mengenai *biochar* juga diperlukan, terutama untuk mengeksplor material potensial untuk pembuatan *Biochar* serta pengaruhnya

terhadap berbagai jenis tanaman pada kondisi agroklimat yang berbeda-beda (Putra *et al.*, 2021a). Penelitian juga harus diarahkan untuk melihat efek sinergistik aplikasi *biochar* dengan bahan lainnya (pupuk organik, pupuk hayati, dan lain sebagainya) terhadap kualitas tanah dan pertumbuhan tanaman

PENUTUP

Berbagai studi telah menunjukkan bahwa *biochar* dapat berdampak positif terhadap kualitas tanah dan produktivitas tebu. *biochar* dapat meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman dengan meningkatkan efisiensi penggunaan hara, peningkatan jumlah dan ketersediaan unsur hara, penurunan pencucian hara dan kehilangan hara melalui evaporasi, promosi hormon pertumbuhan tanaman, dan berkontribusi pada pengurangan cekaman salinitas. Peningkatan kualitas fisik, kimia, dan biologi tanah oleh *biochar* bahkan memungkinkan pengurangan dosis pupuk anorganik yang harus diberikan untuk tebu. *Biochar* dapat dibuat dari berbagai material lokal, termasuk dari biomassa tebu yang tidak terpakai (daun kering, pucuk batang, serasah, dll) maupun limbah pabrik gula. *Biochar* dapat diaplikasikan bersamaan dengan berbagai bahan lainnya, seperti pupuk organik dan hayati untuk menciptakan efek sinergistik yang positif terhadap kualitas tanah serta pertumbuhan dan pertumbuhan tanaman.

Kelebihan pembuatan *biochar* berbasis biomassa tebu dan limbah pabrik gula adalah 1) murah dan mudah didapatkan, 2) berkontribusi terhadap pengurangan volume limbah, 3) merupakan salah satu metode sekuestrasi karbon yang efektif, dan 4) dapat meningkatkan kualitas fisik, kimia, dan biologi tanah. Kelemahannya adalah 1) memerlukan biaya tinggi untuk pengumpulan, penyimpanan, dan transportasi ke lapang dan 2) variabilitas tinggi dari kandungan material pembuat *biochar* dan kondisi tanah. Hal yang menjadi peluang adalah kebutuhan petani untuk mengurangi biaya produksi termasuk biaya pupuk dan meningkatnya kesadaran

berbagai pihak mengenai isu lingkungan, misal tentang pentingnya sekuestrasi karbon dan pertanian ramah lingkungan. Sementara itu, hal yang menjadi ancaman adalah produksi *biochar* dalam skala besar nampaknya masih sulit dilakukan dan beberapa kalangan petani masih kurang yakin atau kurang percaya terhadap dampak positif yang ditimbulkan oleh produk *biochar*.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrianto, W.F., T. Hidayatullah, L.N. Hasanah, R.P. Putra, R. Diannita, & R. Anggraini. 2021. Urban Community Engagement To Reduce And Prevent Food Waste At Household Level. *International Journal of Community Service*. 1 (3): 261-271.
- Afrianto, W.F., S.I. Wati, R.P. Putra, & E.S. Hidayat. 2022. Empowerment Of Farmers Through The Online Extension In Improving Agricultural Information Literacy. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*. 5 (2).
- Ahmad, M., X. Wang, T.H. Hilger, M. Luqman, F. Nazli, A. Hussain, Z.A. Zahir, M. Latif, Q. Saeed, H.A. Malik, & A. Mustafa. 2020. Evaluating Biochar-Microbe Synergies For Improved Growth, Yield Of Maize, And Post-Harvest Soil Characteristics In A Semi-Arid Climate. *Agronomy*. 10: 1055.
- Arifien, Y., R.P. Putra, D.B. Wibaningwati, Anasi, P. T., Masnang, A., Rizki, F. H., A.R. Suradi, R. Rismaya, L. Marlina, S. Anggarawati, R. Prihatini, Sunardi, & Indrawati. 2022. *Pengantar Ilmu Pertanian*. PT Global Eksekutif Teknologi, Padang.
- Asai, H., B. Samson, H. Stephan, K. Songyikhangsuthor, K. Homma, Y. Kiyono, Y. Inoue, T. Shiraiwa, & T. Horie. 2009. Biochar Amendment Techniques For Upland Rice

- Production In Northern Laos 1. Soil Phys. Prop. Leaf SPAD Grain Yield. *Field Crops Research*. 111: 81–84.
- Astuti, A.D. 2019. Analisis Potensi Dampak Lingkungan Dari Budidaya Tebu Menggunakan Pendekatan Life Cycle Assesment (LCA). *Jurnal Litbang*, XV (1): 51-64.
- Asyifa, D., A. Gani, & R.F.I. Rahmayani. 2019. Karakteristik Biochar Hasil Pirolisis Ampas Tebu (*Sacharum officinarum* Linn) Dan Aplikasinya Pada Tanaman Seledri (*Apium Graveolens* L). *JUPI (Jurnal IPA dan Pembelajaran IPA)*. 03 (01): 15-20.
- Akhtar, S.S., M.N. Andersen, & F. Liu. 2015. Residual Effects Of Biochar On Improving Growth, Physiology And Yield Of Wheat Under Salt Stress. *Agricultural Water Management*. 158: 61-68.
- Awan, S., J.A. Ippolito, J.L. Ullman, K. Ansari, L. Cui, & A.A. Siyal. 2021. Biochar Reduce Irrigation Water Sodium Adsorption Ratio. *Biochar*. 3: 77-87.
- Azmi, Y., A. Yulistiyono, T.B. Karyasa, R.P. Putra, S.H. Salama, N.T. Thamrin, D. Septiadi, G.F. Dinata, S. Jumiati, & F.H. Rizki. 2022. *Pertanian Terpadu*. PT Global Eksekutif Teknologi. Padang.
- Basso, A.S., F.E. Miguez, D.A. Laird, R. Horton, & M. Westgate. 2013. Assessing Potential Of Biochar For Increasing Water-Holding Capacity Of Sandy Soils. *Global Change Biology Bioenergy Bioproducts for A Sustainable Bioeconomy*. 5 (2): 132-143.
- Berek, A.K. 2014. Exploring The Potential Roles Of Biochars On Land Degradation Mitigation. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*. 1 (3): 149-158.
- Borges, B., M. Strauss, P.A. Camelo, S.P. Sohi, & H.C.J. Franco. 2020. Re-Use Of Sugarcane Residue As A Novel Biochar Fertiliser - Increased Phosphorus Use Efficiency And Plant Yield. *Journal of Cleaner Production*. 262 (2020): 121406.
- Chen, L., X. Li, Y. Peng, P. Xiang, Y. Zhou, B. Yao, Y. Zhou, & C. Sun. 2022. Co-Application Of Biochar And Organic Fertilizer Promotes The Yield And Quality Of Red Pitaya (*Hylocereus Polyrrhizus*) By Improving Soil Properties. *Chemosphere*. 294: 133619.
- Chen, S., G. Qi, G. Ma, & X. Zhao. 2020. Biochar Amendment Controlled Bacterial Wilt Through Changing Soil Chemical Properties And Microbial Community. *Microbiological Research*. 231: 126373.
- Chen, Y., Y. Shinogi, & M. Taira. 2010. Influence Of Biochar Use On Sugarcane Growth, Soil Parameters, And Groundwater Quality. *Soil Research*, 48 (7): 526-530.
- da Silva, I.C.B., J.J.N. Basilio, L.A. Fernandes, F. Colen, R.A. Sampaio, & L. Frazão. A. 2017. Biochar From Different Residues On Soil Properties And Common Bean Production. *Scientia Agricola*. 74 (5): 378-382.
- Darmayani, S., I. Tribakti, B. Musa, D. Satriawan, W. Rustiah, N. Helilusiatiningsih, E.S. Sahabuddin, R.P. Putra, Rahmawati, F.M. Dewadi, & N. Cundaningsih. 2022. *Kimia Lingkungan*. PT Global Eksekutif Teknologi. Padang.
- de Oliveira, A.L.M., E.L. De Canuto, S. Urquiaga, V.M. Reis, & J.I. Baldani. 2006. Yield Of Micropropagated Sugarcane Varieties In Different Soil Types Following Inoculation With Diazotrophic Bacteria. *Plant and Soil*. 284 (1–2): 23– 32.
- Dewi V.A.K., R.P. Putra, & W.F. Afrianto. 2022. Kajian Potensi Vinase Sebagai Bahan Fertigasi Di Perkebunan Tebu (*Saccharum officinarum* L.). *Sang Pencerah*. 8 (1): 187-201.

- Dinarsih, R.V. 2019. *Pengaruh Pemberian Biochar dan Bahan Pembenah Tanah Lainnya terhadap Sifat Tanah Berpasir dalam Memegang Air dan Pertumbuhan Tebu (Saccharum officinarum L.) Ratoon Satu* [Skripsi]. Malang: Universitas Brawijaya.
- Ding, Y., Y. Liu, S. Liu, Z. Li., X Tan, X. Huang, G. Zeng, L. Zhou, & B. Zheng. 2016. Biochar To Improve Soil Fertility: A Review. *Agronomy for Sustainable Development*. 36: 1-18.
- Dotaniya, M.L., S.C. Datta, D.R. Biswas, C.K. Dotaniya, B.L. Meena, S. Rajendiran, K.L. Regar, .., & M. Lata. 2016. Use Of Sugarcane Industrial By-Products For Improving Sugarcane Productivity And Soil Health. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. 5: 185-194.
- Egamberdieva, D., Z. Zoghi, K. Nazarov, S. Wirth, S.D. Bellingrath-Kimura. 2020. Plant Growth Response Of Broad Bean (*Vicia faba* L.) to Biochar Amendment Of Loamy Sand Soil Under Irrigated and Drought Conditions. *Environmental Sustainability*. 3: 319–324.
- Fangohoy, L. & N.R. Wandansari. 2017. Pemanfaatan Limbah Blotong Pengolahan Tebu Menjadi Pupuk Organik Berkualitas. *Jurnal Triton*. 8 (2): 58-67.
- Farhangi-Abriz, S. & S. Torabian. 2018. Biochar Increased Plant Growth-Promoting Hormones And Helped To Alleviates Salt Stress In Common Bean Seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*. 37: 591–601.
- Guo, X., H. Liu, & J. Zhang. 2020. The Role Of Biochar In Organic Waste Composting And Soil Improvement: A Review. *Waste Management*. 102: 884-899.
- Haider, G., D. Steffens, G. Moser, C. Müller, & C.I. Kammann. 2017. Biochar Reduced Nitrate Leaching And Improved Soil Moisture Content Without Yield Improvements In A Four-Year Field Study. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 237: 80-94.
- Hairani, A., M. Osaki, & T. Watanabe. 2016. Effect Of Biochar Application On Mineral And Microbial Properties Of Soils Growing Different Plant Species. *Soil Science and Plant Nutrition*. 62 (5-6): 519-525.
- Hariyono, B. 2021. Multifungsi Biochar Dalam Budidaya Tebu. *Buletin Tanaman Tembakau, Serat & Minyak Industri*. 13 (2): 94-112.
- Hariyono, B., W.H. Utomo, S.R. Utami, & T. Islami. 2020. Utilization Of The Trash Biochar And Waste Of Sugarcane To Improve The Quality Of Sandy Soil And Growth Of Sugarcane. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 418: 012067.
- Hu, W., Y. Zhang, X. Rong, X. Zhou, J. Fei, J. Peng, & G. Luo. 2024. Biochar And Organic Fertilizer Applications Enhance Soil Functional Microbial Abundance And Agroecosystem Multifunctionality. *Biochar*. 6(3).
- Hussain, M., M. Farooq, A. Nawaz, A.M. Al-Sadi, Z.M. Solaiman, S.S. Alghamdi, U. Ammara, Y.S. Ok, & K.H. Siddique. 2017. Biochar For Crop Production: Potential Benefits And Risks. *Journal of Soils Sediments*. 17: 685–716.
- Islami, A. 2021. *Pengaruh Pemberian Biochar Ampas Tebu dan Pupuk N terhadap Sifat Kimia Inceptisol dan Pertumbuhan Tanaman Tebu (Saccharum officinarum L.)* [Skripsi]. Padang: Universitas Andalas.
- Islami, T., E. Wisnubroto, & W. Nugroho. 2015. Biochar Derived From Sugarcane Industry Waste Increasing Productivity Of Degraded Land. *International Journal of Soil Science*. 12: 1–9.

- Jaiswal, A.K., Y. Elad, I. Paudel, E.R. Graber., E. Cytryn, & O. Frenkel. 2017. Linking The Belowground Microbial Composition, Diversity And Activity To Soilborne Disease Suppression And Growth Promotion Of Tomato Amended With Biochar. *Scientific Reports*. 7 (1): 1-17.
- Jin, L., D. Wei, D. Yin, B. Zhou, J. Ding, W. Wang, J. Zhang, S. Qiu, C. Zhang, Y. Li, Z. An, J. Gu, & L. Wang, L. 2020. Investigations Of The Effect Of The Amount Of Biochar On Soil Porosity And Aggregation And Crop Yields On Fertilized Black Soil In Northern China. *PLoS ONE*. 15 (11): e0238883.
- Juriga, M., V. Šimanský, J. Horák, E. Kondrlová, D. Igaz, N. Polláková, N. Buchkina, & E. Balashov. 2018. The Effect Of Different Rates Of Biochar And Biochar In Combination With N Fertilizer On The Parameters Of Soil Organic Matter And Soil Structure. *Journal of Ecological Engineering*. 19 (6): 153-161.
- Karabay, U., A. Toptas, J. Yanik, & L. Aktas. 2021. Does Biochar Alleviate Salt Stress Impact On Growth Of Salt-Sensitive Crop Common Bean. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 52 (5): 456-469.
- Karhu, K., S. Kalu, A. Seppänen, B. Kitzler, & E. Virtanen. 2021. Potential Of Biochar Soil Amendments To Reduce N Leaching In Boreal Field Conditions Estimated Using The Resin Bag Method. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 316: 107452.
- Karve, P., H.Y. Mabajan, R.M. Salunkbe, & A.D. Karve. 2001. Boiling Point 47: A Chain Of Technologies For Using Sugarcane Trash As A Household Fuel. *Practical Action*, (<https://bit.ly/2KBrhKA>). pp 16-18.
- Keller, L., O.J. Idowu, A. Ulery, M. Omer, & C.E. Brew. 2023. Short-Term Biochar Impacts On Crop Performance And Soil Quality In Arid Sandy Loam Soil. *Agriculture*. 13 (4).
- Kul, R., T. Arjumend, M. Ekinici, E. Yildirim, & M. Turan. 2021. Biochar As An Organic Soil Conditioner For Mitigating Salinity Stress In Tomato. *Soil Science and Plant Nutrition*. 67 (6): 693-706.
- Kumar, A., & J.P. Verma. 2018. Does Plant—Microbe Interaction Confer Stress Tolerance In Plants: A Review. *Microbiological Research*. 207: 41-52.
- Kuo, Y., C. Lee, & S. Jien. 2020. Reduction Of Nutrient Leaching Potential In Coarse-Textured Soil By Using Biochar. *Water*. 12.
- Kurniawan, A., B. Haryono, M. Baskara, & S.Y. Tyasmoro. 2016. Pengaruh Penggunaan Biochar Pada Media Tanam Terhadap Pertumbuhan Bibit Tanaman Tebu (*Saccharum officinarum* L.). *Jurnal Produksi Tanaman*. 4 (2): 153-160.
- Lehmann, J., J. Gaunt, & M. Rondon. 2006. Bio-Char Sequestration In Terrestrial Ecosystems – A Review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 11: 403-427.
- Lei, O. & R. Zhang. 2013. Effects Of Biochars Derived From Different Feedstocks And Pyrolysis Temperatures On Soil Physical And Hydraulic Properties. *Journal of Soils and Sediments*. 13: 1561-1572.
- Lestari, C.R.D. 2023. *Pengaruh Pemberian Biochar Ampas Tebu dan Pupuk NPK terhadap Pertumbuhan Bibit Tebu (Saccharum officinarum L.)* [Skripsi]. Lampung: Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Lampung.
- Li, S.P., Z.L. Li, X. Feng, F.W. Zhou, J.P. Wang, & Y. Li. 2021. Effects Of Biochar Additions On The Soil Chemical Properties, Bacterial Community Structure And Rape Growth In An Acid Purple Soil. *Plant*,

- Soil and Environment*. 67 (3): 121-129.
- Liao, F., L. Yang, Q. Li, J. Xue, Y. Li, D. Huang, & L. Yang. 2019. Effect Of Biochar On Growth, Photosynthetic Characteristics And Nutrient Distribution In Sugarcane. *Sugar Tech*. 21: 289-295.
- Lima, I.M. & M. White. 2017. Sugarcane Bagasse And Leaf Residue Biochars As Soil Amendement For Increased Sugar And Cane Yields. *International Sugar Journal*. 119 (1421): 382-390.
- Liu, Z., B. Dugan, C.A. Masiello, & H.M. Gonnermann. 2017. Biochar Particle Size, Shape, And Porosity Act Together To Influence Soil Water Properties. *PLoS One*. 12 (6): e0179079.
- Liu, M., C. Linna, S. Ma, Q. Ma, J. Guo, F. Wang, & L. Wang. 2022. Agronomic Traits And Nutrient Absorption Of Soybean And Fertility And Microbes In Purple Soil. *Frontiers in Plant Science*. 13: 871021.
- Mahbub, I.A. 1999. Pengaruh Mikoriza Dan Kapur Super Fosfat Terhadap Ketersediaan P Tanah, Serapan P Tanaman Dan Hasil Jagung Pada Ultisol. *Jurnal Agronomi*. 8: 121-124.
- Mensah, A.K. & K.A. Frimpong. 2017. Biochar And/Or Compost Applications Improve Soil Properties, Growth, And Yield Of Maize Grown In Acidic Rainforest And Coastal Savannah Soils In Ghana. *International Journal of Agronomy*. 2018.
- Misran, E. 2005. Industri tebu menuju zero waste industry. *Jurnal Teknologi Proses*. 4 (2): 6-10.
- Naik, K., S. Mishra, H. Srichandan, P.K. Singh, & P.K. Sarangi. 2019. Plant Growth Promoting Microbes: Potential Link To Sustainable Agriculture And Environment. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 21: 101326.
- Nakhli, S.A.A., S. Panta, J.D. Brown, J. Tian, & P.T. Imhoff. 2019. Quantifying Biochar Content In A Field Soil With Varying Organic Matter Content Using A Two-Temperature Loss On Ignition Method. *Science of the Total Environment*. 658: 1106-1116.
- Ni, J., X.W. Chen, W. Ng, & H.W. Guo. 2018. Effects Of Biochar On Water Retention And Matric Suction Of Vegetated Soil. *Geotechnique Letters*. 8 (2): 124-129.
- Novak, J., G. Sigua, D. Watts, K. Cantrell, P. Shumaker, A. Szogi, M.G. Johnson, & K. Spokas. 2016. Biochars Impact On Water Infiltration And Water Quality Through A Compacted Subsoil Layer. *Chemosphere*. 142: 160-167.
- Permana I., O. Anggoro, D. Carsidi, S. Alam, N.K. Sihalohe, Y.M. Killa, W.O.A. Wida, R.P. Putra, C. Mutiara, A. Masnang, Z. Wirda, & R. Elizabeth. 2022. *Kesuburan Tanah dan Pemupukan*. PT Global Eksekutif Teknologi. Padang.
- Petter, F. A., L.F.C. Leite, D.M. de Machado, B.H.M. Junior, L.B. de Lima, O.S. Freddi, & A.S.F. Araujo. 2019. Microbial Biomass And Organic Matter In An Oxisol Under Application Of Biochar. *Soil and Plant Nutrition*. 78 (1): 109-118.
- Puspitasari, A.R., D. Ariyani, & R.P. Putra. 2023. Aplikasi Pupuk Nano Cair Dan Pengaruhnya Pada Fase Pertumbuhan Vegetatif Tebu. *Indonesian Sugar Research Journal*. 3 (2): 64-71.
- Puspitasari, A.R., D. Ariyani, R.P. Putra, E. Widaryanto, M.D. Maghfoer, & S.Y. Tyasmoro. 2024. Enhancement Of Sugarcane Maturity Using Glyphosate And Bispyribac Sodium As Chemical Ripeners In Wet Climate. *BIO Web of Conferences*. 91: 01006.
- Putra, R.P., N. Arini, & M.R.R. Ranomahera. 2021a. Implementation Of Climate-Smart Agriculture To Boost Sugarcane Productivity In Indonesia.

- Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*. 40 (2): 89-102.
- Putra, R.P., V.A.K. Dewi, & W.F. Afrianto. 2021b. *Serba-Serbi Pertanian Perkotaan*. Insan Cendekia Mandiri, Solok.
- Putra, R.P., M.R.R. Ranomahera, N. Arini, & W.F. Afrianto. 2021c. Tindakan Pengembalian Residu Panen Tebu Untuk Meningkatkan Kualitas Tanah Dan Produktivitas Tebu (*Saccharum officinarum* L.). *Buletin Tanaman Tembakau, Serat & Minyak Industri*. 13 (1): 48-66.
- Putra, R.P., M.R.R. Ranomahera, M.S. Rizaludin, R. Supriyanto, & V.A.K. Dewi. 2020. Investigating Environmental Impacts Of Long-Term Monoculture Of Sugarcane Farming In Indonesia Through DPSIR Framework. *Biodiversitas*. 21 (9): 4945-4958.
- Qian, Z., Tang, L., Zhuang, S., Zou, Y., Fu, D., & Chen, X. 2020. Effects Of Biochar Amendments On Soil Water Retention Characteristics Of Red Soil At South China. *Biochar*. 2: 479-488.
- Ranomahera, M.R.R., B.D.A. Nugroho, P.D. Riajaya, & R.P. Putra. 2020. Using Global Climate Indices To Predict Rainfall And Sugarcane Productivity In Drylands Of Banyuwangi, East Java, Indonesia. *Indonesian Journal of Agricultural Science*. 21 (2): 78-88.
- Ranomahera, M.R.R., A.R. Puspitasari, R.P. Putra, G. Gustomo, & S. Winarsih. 2020b. Agronomic Performance And Economic Benefits Of Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) Under Drip Irrigation For Sandy And Clay Soils In East Java, Indonesia. *Jurnal Tanah dan Iklim*. 44 (2): 141-153.
- Rashid, M.I., L.H. Mujawar, T. Shahzad, T. Almeelbi, I.M. Ismail, & M. Oves. 2016. Bacteria And Fungi Can Contribute To Nutrients Bioavailability And Aggregate Formation In Degraded Soils. *Microbiological Research*. 183: 26-41.
- Riajaya, P.D. 2020. *Rainy Season Period And Climate Classification In Sugarcane Plantation Regions In Indonesia*. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 418, No. 1, p. 012058). IOP Publishing.
- Rondon, M.A., J. Lehmann, J. Ramírez, & M. Hurtado. 2007. Biological Nitrogen Fixation By Common Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) Increases With Bio-Char Additions. *Biological Fertility of Soils*. 43: 699-708.
- Rubin, R.L., T.R. Anderson, & K.A. Ballantine. 2020. Biochar Simultaneously Reduces Nutrient Leaching And Greenhouse Gas Emissions In Restored Wetland Soils. *Applied Wetland Science*. 40: 1981-1991.
- Shareef, T. & B. Zhao. 2017. Review Paper: The Fundamentals Of Biochar As A Soil Amendment Tool And Management In Agriculture Scope: An Overview For Farmers And Gardeners. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*. 6 (1): 38-61.
- Srivatsav, P., B.S. Bhargav, V. Shanmugasundaram, J. Arun, K.P. Gopinath, & A. Bhatnagar. 2020. Biochar As An Eco-Friendly And Economical Adsorbent For The Removal Of Colorants (Dyes) From Aqueous Environment: A Review. *Water*. 12: 3561.
- Subedi, R., N. Taupe, I. Ikoyi, C. Bertora, L. Zavattaro, A. Schmalenberger, J.J. Leahy, & C. Grignani. 2016. Chemically And Biologically-Mediated Fertilizing Value Of Manure-Derived Biochar. *Science of the Total Environment*. 550: 924-933.
- Syaikh, A.H.F., B. Hariyono & D. Suprayogo. 2016. Uji Kemanfaatan Biochar Dan Bahan Pembenah Tanah Untuk Perbaikan Beberapa Sifat Fisik

- Tanah Berpasir Serta Dampaknya Terhadap Pertumbuhan Dan Produksi Tebu. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 3 (2): 345-357.
- Tafti, N., J. Wang, L. Gaston, J.H. Park, M. Wang, & S. Pensky. 2021. Agronomic And Environmental Performance Of Biochar Amendment In Alluvial Soils Under Subtropical Sugarcane Production. *Agrosystems, Geosciences & Environment*. 4 (3): e20209.
- Thomas, S.C., S. Frye, N. Gale, M. Garmon, R. Launchbury, N. Machado, S. Melamed, J. Murray, A. Petroff, & C. Winsborough. 2013. Biochar Mitigates Negative Effects Of Salt Additions On Two Herbaceous Plant Species. *Journal of Environmental Management*. 129: 62-68.
- Tohir, M. 2016. *Pengaruh Limbah Tebu terhadap Beberapa Sifat Fisika dan Kimia Tanah serta Penumbuhan Awal Tanaman Tebu (Saccharum officinarum L.) pada Tanah Berpasir* [Skripsi]. Malang: Universitas Brawijaya.
- Tu, C., J. Wei, F. Guan, Y. Liu, Y. Sun, & Y. Luo. 2020. Biochar And Bacteria Inoculated Biochar Enhanced Cd And Cu Immobilization And Enzymatic Activity In A Polluted Soil. *Environment International*. 137: 105576.
- Ulyett, J., R. Sakrabani, M.G. Kibblewhite, & M. Hann. 2014. Impact Of Biochar Addition On Water Retention, Nitrification And Carbon Dioxide Evolution From Two Sandy Loam Soils. *European Journal of Soil Science*. 65 (1): 96-104.
- Utami, K.W. 2014. *Pengaruh Biochar Serasah Tebu, Abu Ketel dan Pupuk Kandang Sapi terhadap Sifat Fisikokimia Tanah Berpasir serta Pertumbuhan Tebu (Saccharum officinarum L.) di Asembagus Situbondo* [Skripsi]. Malang: Universitas Brawijaya.
- Uzoma, K., M. Inoue, H. Andry, A. Zahoor, & E. Nishihara. 2011. Influence Of Biochar Application On Sandy Soil Hydraulic Properties And Nutrient Retention. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 9: 1137-1143.
- Vista, S.P. & A. Khadka. 2017. Determining Appropriate Dose Of Biochar For Vegetables. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 6 (6S): 673-677.
- Vu, N.T., T.K. Bui, T.T.H. Vu, T.H. Nguyen, T.T.C. Le, A.T. Tran, N.L. Vu, V.Q. Tran, V.G. Tong, X.T. Nguyen, H.C. Yang, S.J. Lee, Y.H. Kim, Y.H. Bae, S.J. Hyeon, T.H. Dinh, & D.C. Jang. 2023. Biochar Improved Sugarcane Growth And Physiology Under Salinity Stress. *Applied Sciences*. 13 (13): 7708.
- Wati, S.I., W.F. Afrianto, R.P. Putra, & T. Hidayatullah. 2022. Community Empowerment Through Online Training Of Drumstick Tree (*Moringa Oleifera*) Cultivation And Its Utilization During The Covid-19 Pandemic For Urban Communities In Kediri, East Java, Indonesia. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*. 5 (2): 361-367.
- Widiastuti, M.M.D. 2016. Analisis Manfaat Biaya Biochar Di Lahan Pertanian Untuk Meningkatkan Pendapatan Petani Di Kabupaten Merauke. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan*. 13 (2): 135-143.
- Widyawati, L. 2016. *Pengaruh Pemberian Biochar Serasah Tebu, Pupuk Kandang Sapi dan Kompos terhadap Populasi Mikoriza serta Pertumbuhan Awal Tanaman Tebu (Saccharum officinarum L.)* [Skripsi]. Malang: Universitas Brawijaya.
- Yao. Y., B. Gao, M. Zhang, M. Inyang, & A.R. Zimmerman. 2012. Effect Of

- Biochar Amendment On Sorption And Leaching Of Nitrate, Ammonium And Phosphate In A Sandy Soil. *Chemosphere*. 89: 1467-1471.
- Yi, S., N.Y. Chang, & P.T. Imhoff. 2020. Predicting Water Retention Of Biochar-Amended Soil From Independent Measurements Of Biochar And Soil Properties. *Advances in Water Resources*. 142: 103638.
- Yu, O.Y., B. Raichle, & S. Sink. 2013. Impact Of Biochar On The Water Holding Capacity Of Loamy Sand Soil. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*. 4: 1-9.
- Zainudin, M.H., N.A. Mustapha, T. Maeda, N. Ramli, K. Sakai, & M. Hassan. 2020. Biochar Enhanced The Denitrifying Bacterial Communities During The Composting Of Poultry Manure And Rice Straw. *Waste Management*. 106: 240-249.
- Zhen, M., J. Tang, C. Li, & H. Sun. 2020. Rhamnolipid-Modified Biochar-Enhanced Bioremediation Of Crude Oil-Contaminated Soil And Mediated Regulation Of Greenhouse Gas Emission In Soil. *Journal of Soils and Sediments*. 21: 123-133.