

Dosis dan Efek Residu Biochar Kulit Buah Kakao dalam Memperbaiki Sifat Tanah dan Meningkatkan Produktivitas Jagung di Lahan Kering Masam Lampung Timur

Dosage and Effects of Cacao Shell Biochar Residue in Improving Soil Properties and Increasing Maize Productivity in Acid Upland in East Lampung

Neneng Laela Nurida dan Jubaedah

Balai Penelitian Tanah, Jl. Tentara Pelajar No 12 Bogor. Email: lelanurida@yahoo.com

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 23 Juli 2021

Disetujui: 14 Oktober 2021

Dipublikasi online: 26 Oktober 2021

Kata Kunci:

Dosis
Biochar kulit kakao
Amelioran
Kemasaman tanah
Jagung

Keywords:

Dosage
Cacao shell biochar
Ameliorant
Soil acidity
Maize

Direview oleh:

Eni Maftuah, Ai Dariah

Abstrak Dosis biochar yang diberikan ke dalam tanah merupakan salah satu faktor yang menentukan efektivitas pemberian biochar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh beberapa dosis biochar kulit buah kakao dan residunya terhadap penurunan kemasaman tanah, peningkatan kandungan hara makro dan hasil jagung di lahan kering masam. Penelitian dilaksanakan di Kebun Percobaan di Taman Bogo, Kabupaten Lampung Timur, selama tiga musim tanam yaitu Pebruari-Mei 2015, Juli-Nopember 2015 dan Nopember 2015-Pebruari 2016. Penelitian menggunakan rancangan acak kelompok, 4 ulangan. Perlakuan yang diuji adalah dosis biochar kulit buah kakao 0; 5; 10; 15; 25 dan 40 t ha⁻¹ dan jagung sebagai tanaman indikator. Parameter yang diamati adalah pH, P, K, Ca, Mg, dan Al³⁺ tanah, serta berat pipilan kering jagung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian biochar kulit buah kakao dosis 15-40 t ha⁻¹ mampu meningkatkan pH, kandungan P dan K potensial, Ca dan Mg, rasio Ca/Al serta menurunkan Al³⁺. Respon paling konsisten terjadi pada pemberian biochar kulit buah kakao 40 t ha⁻¹. Efektivitas pemberian biochar kulit buah kakao terhadap hasil pipilan jagung tertinggi terjadi pada musim tanam ketiga dengan dosis optimum 34,39 t ha⁻¹ dan hasil 8,31 t ha⁻¹. Hasil jagung pipilan kering berkorelasi negatif dengan kandungan Al³⁺ (r=0,9117; p< 0,001). Biochar kulit buah kakao sangat prospektif untuk ameliorasi lahan kering masam dan peningkatan produktivitas jagung dengan dosis cukup tinggi 35 t ha⁻¹ dan diberikan pada musim tanam pertama tanpa pemberian lagi pada dua musim tanam berikutnya.

Abstract. The biochar rates applied into a soil is an important determining the effectiveness of biochar as a soil amendment. This study aimed to evaluate the effect of different rates of cacao shell biochar and its residue to decrease soil acidity, increase soil macronutrient content and maize yield in acid soil. The research was carried out at Taman Bogo Research Station, East Lampung Regency in three planting seasons, namely February-May 2015, July-November 2015 and November 2015-February 2016, using a randomized block design with 4 replications. The treatments of cacao shell biochar rates were 0; 5;10; 15; 25 and 40 t ha⁻¹ and the indicator crop was maize. The soil parameters observed were soil pH, P and K, Ca, Mg and Al³⁺ and maize dry grain weight. The results showed that the application of 15 to 40 t ha⁻¹ cacao shell biochar increased soil pH, P, K, Ca, Mg, and Ca/Al ratio, and decreased Al³⁺. The effectiveness of applying cacao shell biochar in increasing dry grain weight of maize was highest in the third seasons with an optimum dose of 34.39 t ha⁻¹ that resulted in dry grain weight of 8.31 t ha⁻¹. Maize dry grain weight negatively correlated with Al³⁺ content in soil (r=0.9117; p<0.001). Cacao shell biochar at a dose of 35 t ha⁻¹ was very prospective for ameliorating acid upland and increasing maize productivity, by applying in the first season and no additional application in the next two seasons.

Pendahuluan

Aplikasi biochar di lahan pertanian telah memberikan berbagai manfaat yaitu upaya sekuestrasi karbon, pengelolaan limbah pertanian, imobilisasi polutan, peningkatan kesuburan tanah dan pengurangan emisi N₂O (Jeffery *et al.* 2015; Lehmann 2007). Dalam upaya

meningkatkan kesuburan tanah, biochar berfungsi melalui berbagai proses peningkatan retensi hara (Biederman dan Harpole 2013; Hale *et al.* 2013; Laird *et al.* 2010; Martinsen *et al.* 2014), peningkatan retensi air (Bruun *et al.* 2014; Obia *et al.* 2017), pengurangan kemasaman tanah (Biederman dan Harpole 2013; Martinsen *et al.* 2015; Jeffery *et al.* 2017), perbaikan struktur tanah (Bruun *et al.* 2014; Obia *et al.* 2016; Obia *et al.* 2017), peningkatan transportasi hara oleh mikoriza (Warnock *et*

* Corresponding author: lelanurida@yahoo.com

al. 2007), dan meningkatkan ketahanan terhadap hama (Harel *et al.* 2012; Mehari *et al.* 2015). Proses yang terjadi dalam tanah umumnya merupakan kombinasi dari berbagai proses tersebut.

Efektivitas biochar terlihat sangat nyata bila diaplikasikan pada tanah-tanah di wilayah tropika (Major *et al.* 2010; Jeffery *et al.* 2011; Agegnehu *et al.* 2016; Jeffery *et al.* 2017; Cornelissen *et al.* 2018; Hale *et al.* 2020) dibandingkan pada tanah di wilayah sub tropikal dimana efek biochar terhadap hasil tanaman dan sifat tanah tergolong rendah (Jeffery *et al.* 2011; Bonanomi *et al.* 2017; Jeffery *et al.* 2017;). Perbaikan tanah terjadi sangat nyata bila biochar diaplikasikan pada lahan kering masam ($\text{pH} < 5$), tanah yang sudah mengalami pelapukan lanjut dan tanah dengan tekstur berpasir (Crane Droesch *et al.* 2013; Jeffery *et al.* 2017; Nurida dan Muchtar 2020). Berbagai penelitian telah membuktikan korelasi positif antara perbaikan sifat tanah dengan peningkatan hasil tanaman (Cornelissen *et al.* 2018; Nurida *et al.* 2019b; Hale *et al.* 2020).

Dosis biochar yang digunakan merupakan salah satu faktor yang menentukan efektivitas biochar. Berbagai dosis biochar telah diuji dan didapatkan bahwa pemberian biochar kulit buah kakao 3% (berat tanah) dan biochar sekam padi 10% (berat tanah) secara signifikan mampu mengurangi kemasaman tanah (Martinsen *et al.* 2015). Pemberian dosis biochar yang sangat tinggi (30, 60, dan 90 t ha^{-1}) pada tanah berkapur ($\text{pH} 7,1-7,8$) hanya meningkatkan sedikit hasil kumulatif tanaman selama empat musim (Liang *et al.* 2014). Hasil penelitian Liu *et al.* (2013) menyebutkan bahwa dosis biochar $< 10 \text{ t ha}^{-1}$ umum digunakan, sedangkan biochar dosis tinggi tidak selalu berdampak positif pada produktivitas tanaman bahkan dapat berefek negatif bagi pertumbuhan tanaman (Jin *et al.* 2020).

Dosis biochar yang diberikan ke dalam tanah menjadi aspek penting, Biederman dan Harpole (2013) menyatakan peningkatan dosis biochar hingga $> 0,5\%$ dari volume tanah dapat meningkatkan produksi biomassa permukaan tanah, sedangkan Liu *et al.* (2013) menyebutkan bahwa dosis biochar $< 30 \text{ t ha}^{-1}$ dapat meningkatkan produktivitas tanaman. Penelitian Sun *et al.* (2017) menyebutkan bahwa dosis 1-5% biochar brangkasan jagung menyebabkan pertumbuhan dan peningkatan fisiologis tanaman jagung (*Zea mays L.*), sedangkan dosis 30% menyebabkan pertumbuhan akar jagung menjadi terhambat. Pada perlakuan yang ekstrim (dosis biochar 120 t ha^{-1}) menghasilkan penurunan biomassa *Trifolium pretense (red clover)* jika dibandingkan dengan perlakuan kontrol (Mia *et al.* 2014).

Efek residu pemberian biochar dapat dilihat pada beberapa musim selanjutnya. Hasil penelitian Haefele *et al.* (2011) mendapatkan aplikasi biochar sekam padi selama empat musim di Thailand dan Filipina meningkatkan hasil padi sebesar 16-35%, sedangkan Steiner *et al.* (2007) mengemukakan bahwa efek positif biochar berkurang seiring waktu dalam empat musim tanam di lahan masam Brazil. Penelitian pengaruh biochar pada Oksisol Kolombia selama 4 tahun, tidak menemukan efek apa pun pada tahun pertama, namun hasil jagung meningkat dalam tiga musim berikutnya (Major *et al.* 2010). Efektivitas biochar pada hasil tanaman akan menurun seiring waktu, karena terjadi pencucian hara dan penurunan cepat alkalinitas yang ditambahkan melalui biochar (Glaser *et al.* 2002; Lehmann dan Rondon 2006).

Aplikasi biochar dengan kandungan hara makro yang tinggi akan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap pertumbuhan tanaman yang sebagian besar dibatasi oleh kemasaman tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh beberapa dosis biochar kulit buah kakao dan residunya terhadap penurunan kemasaman tanah, peningkatan kandungan hara makro dan hasil jagung di lahan kering masam.

Bahan dan Metode

Penelitian lapangan untuk melihat efek jangka panjang aplikasi biochar kulit buah kakao pada berbagai dosis terhadap hasil jagung di lahan kering masam tropika dilakukan selama tiga musim tanam 2015/2016 yaitu Pebruari-Mei 2015 (musim tanam pertama), Juli-Nopember 2015 (musim tanam kedua) dan November 2015-Pebruari 2016 (musim tanam ketiga). Penelitian dilaksanakan di Kebun Percobaan Balai Penelitian Tanah di Taman Bogo, Kecamatan Probolinggo, Kabupaten Lampung Timur pada koordinat $05^{\circ}00.406' \text{ S}$; $105^{\circ}29.405' \text{ E}$ dan ketinggian tempat sekitar 300 m di atas permukaan laut.

Penelitian menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) dengan empat ulangan. Perlakuan yang diuji adalah dosis biochar kulit buah kakao 0; 5;10;15;25 dan 40 t ha^{-1} . Bulk Density (BD) tanah sebesar $1,3 \text{ gr cm}^{-3}$, sehingga dapat diketahui persentase penambahan biochar (berat/berat) ke dalam tanah yaitu sebesar 0,04%, 0,08%, 0,12%, 0,2% dan 0,3% masing-masing untuk 5;10; 15; 25 dan 40 t ha^{-1} . Petak percobaan berukuran 3 m x 4 m, pematang dan saluran air dibuat sedemikian rupa sehingga tidak terjadi pengaruh antar perlakuan. Varietas jagung yang digunakan adalah Pioneer 27 (P27), ditanam dengan jarak tanam 20 cm x 75 cm. Dosis pupuk untuk jagung

Tabel 1. Sifat kimia, kandungan karbon dan hara makro biochar kulit buah kakao

Table 1. Chemical properties, carbon content and macronutrients of cacao shell biochar

Uraian	pH	C-total	N-total	P	K	Mg	Ca
Kandungan unsur dalam biochar (%)	11	35,14	1,03	0,38	1,58	3,39	4,08
Kandungan unsur/dosis yang diberikan	----- kg-----						
5 t ha ⁻¹	1757	52	19	93	170	204	
10 t ha ⁻¹	3514	103	38	186	339	408	
15 t ha ⁻¹	5271	155	57	279	509	612	
25 t ha ⁻¹	8785	258	95	465	848	1020	
40 t ha ⁻¹	14056	412	152	744	1356	1632	

berdasarkan Perangkat Uji Tanah Kering (PUTK) yaitu 300 kg ha⁻¹ Urea dan 200 kg ha⁻¹ Phonska.

Biochar yang digunakan berbahan baku kulit buah kakao yang merupakan limbah pertanian kakao dan diproduksi dengan menggunakan alat Adam Retort Kiln (ARK) yang dirancang Adam (2009) dengan temperatur sekitar 250-350 °C. Sebelum diaplikasikan, biochar dianalisis di laboratorium tanah Balai Penelitian Tanah untuk mengetahui kualitasnya. Parameter yang dianalisis meliputi pH H₂O, C-organik (pengabuan), N-total (Kjeldahl), kadar P₂O₅, K₂O, CaO, dan MgO (pengabuan basah dengan HNO₃ dan HClO₄). Karakteristik biochar dan kandungan karbon dan hara makro disajikan pada Tabel 1.

Biochar kulit buah kakao mempunyai kualitas yang tergolong bagus terlihat dari sifat kimia seperti kandungan pH sekitar 11, C-total 35,14%, N-total 1,03%, P 0,38% dan kandungan K, Mg dan Ca masing masing sebesar 1,58; 3,39 dan 4,08% (Tabel 1). pH biochar yang tinggi dan kandungan Mg dan Ca yang cukup tinggi menyebabkan potensi biochar kulit buah kakao dalam menurunkan kemasaman tanah cukup tinggi. Selain itu, berdasarkan kandungan C-organik dan hara makro biochar, potensinya berkontribusi terhadap sekuestrasi karbon dan hara tanah cukup tinggi sejalan dengan dosis yang digunakan.

Biochar kulit buah kakao telah dilaporkan memiliki pH 11 dan KTK 197 cmol^c kg⁻¹ (Cornelissen *et al.* 2018). Ini menunjukkan bahwa potensi biochar kulit buah kakao untuk memperbaiki pH tanah dan memperbaiki kapasitas pertukaran hara adalah besar. Karakteristik lain dari biochar yang berhubungan dengan kemampuan meretensi hara adalah sifat “porous” dari biochar dan kehadiran polar

dan non polar site pada biochar. Kedua sifat tersebut akan menyerap dan mengikat unsur hara pada biochar (Hale *et al.* 2013).

Penelitian lapang dilaksanakan pada tanah yang tergolong sangat masam (pH KCl 3,3 dan pH H₂O 4,0), kandungan Al³⁺ tinggi (> 2 cmol^c kg⁻¹), tekstur lempung liat berpasir (pada kedalaman 0-20 cm kandungan pasir 50-51%, debu 14-19%, dan liat 31-35%). Jenis tanah adalah *Typic Kanhapludult*. Rata-rata curah hujan berkisar 2.000-2.500 mm tahun⁻¹. Biochar yang dihasilkan dijemur di bawah sinar matahari hingga kering udara dan digiling lalu diayak (ukuran ayakan < 2 mm) untuk mendapatkan bentuk yang homogen. Biochar yang lolos ayakan diaplikasikan dengan cara dicampur dengan tanah pada kedalaman sampai 10 cm. Selanjutnya diinkubasi selama 7 hari. Biochar diberikan hanya pada musim tanam pertama. Seluruh dosis pupuk Phonska diberikan pada saat tanam. Urea diberikan secara bertahap, yaitu 20% pada saat tanam dan 40% pada saat tanaman berumur 21 dan 42 hari setelah tanam (HST), dengan cara ditugal pada jarak 5 cm dari lubang tanam, kemudian ditutup dengan tanah untuk menghindari kontak langsung dengan benih. Penyiraman tanaman menggunakan alat penyiram (gembor). Penyiangan gulma dan pengendalian organisme pengganggu tanaman (OPT) disesuaikan dengan kebutuhan.

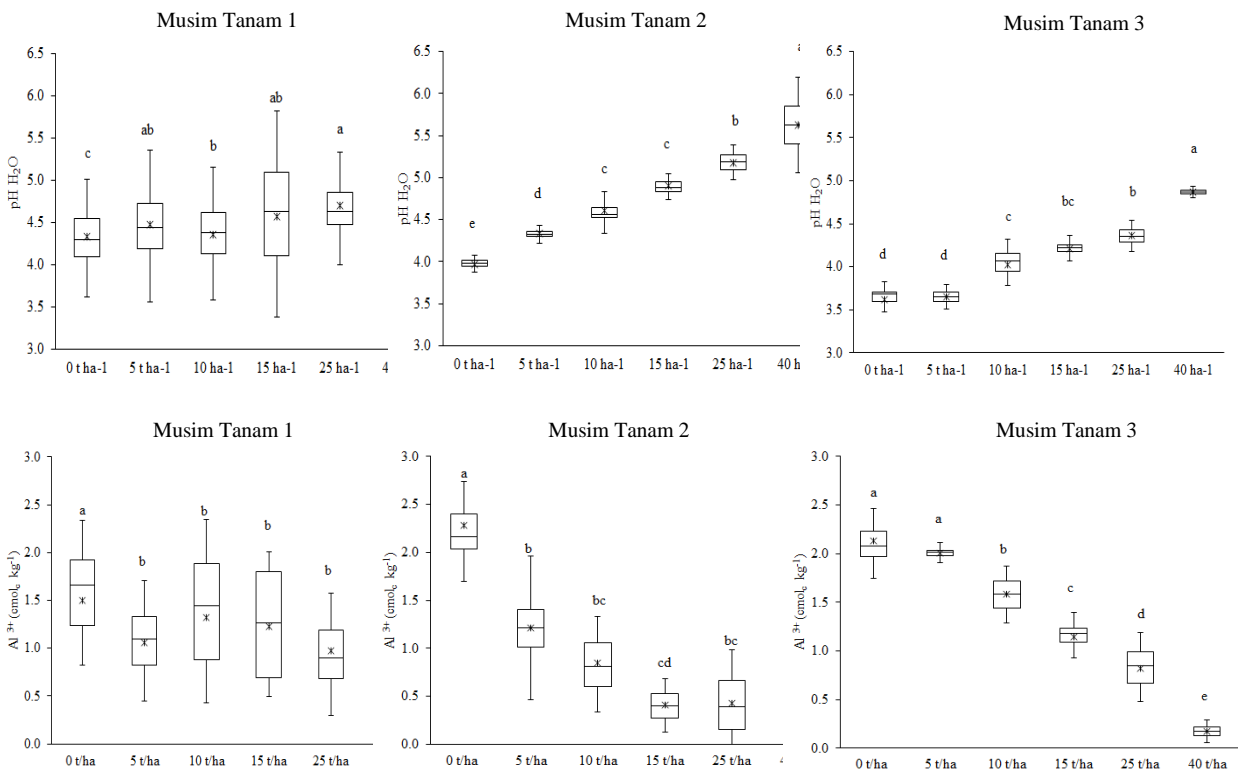
Analisis sifat kimia tanah dilakukan sebelum dan setelah aplikasi perlakuan. Sebelum aplikasi perlakuan, sebanyak 10 sub contoh tanah komposit diambil dari setiap ulangan, dicampur secara merata dalam ember plastik, kemudian diambil sekitar 1 kg untuk analisis kimia di laboratorium. Setelah panen, enam contoh tanah komposit diambil dari setiap perlakuan untuk analisis kimia. Tanah

dikeringkan dalam oven pada suhu 40°C selama 24 jam, digiling, dan disaring dengan saringan berdiameter 2 mm. Analisis contoh tanah meliputi pH (H₂O), C-organik (Walkey and Balack), N (Kjeldahl), P dan K (HCl 25%), basa-basa bias ditukar (K, Na, Ca, Mg), KTK dan Al³⁺ (NH₄OAc 1 N pH 7). Peubah tanaman yang diamati adalah hasil tanaman (berat biomas dan pipilan kering). Data peubah tanaman dan sifat tanah dianalisis menggunakan program SAS System for Linear Models (Ramon et al. 1992). Perlakuan yang menunjukkan pengaruh nyata dilanjutkan dengan analisis Duncan Multiple Range Test (DMRT) untuk mengetahui tingkat perbedaan antar perlakuan. Korelasi Pearson digunakan untuk mengetahui keeratan hubungan antar variable pengamatan. Persamaan regresi kuadratik digunakan untuk menggambarkan hubungan antara penambahan dosis biochar kulit buah kakao dengan hasil pipilan kering ($Y = ax^2 + bx + c$), dimana x adalah dosis biochar kulit buah kakao, Y adalah hasil pipilan kering jagung, a adalah intersep dan b adalah koefisien peningkatan tambahan maksimum dosis biochar dan c adalah konstanta. Perhitungan dari turunan pertama persamaan regresi ($\frac{dy}{dx} = 0$) digunakan untuk mengetahui dosis optimum biochar kulit buah kakao.

Hasil dan Pembahasan

Sifat Tanah

Penambahan biochar kulit buah kakao berukuran halus (<2 mm) sangat signifikan menurunkan kemasaman tanah (peningkatan pH tanah dan penurunan kandungan Al³⁺) sejalan dengan peningkatan dosis kecuali pada dosis 5 t ha⁻¹. Perbedaan pengaruh dosis biochar terhadap pH tanah dan kandungan Al³⁺ sangat nyata terlihat pada musim tanam kedua dan ketiga (Gambar 1). Pada aplikasi biochar kulit buah kakao hingga dosis 40 t ha⁻¹, tingkat kemasaman tanah masih terus meningkat selama tiga musim tanam. Biochar kulit buah kakao sendiri memiliki pH yang cukup tinggi yaitu 11 dan mengandung Ca dan Mg masing-masing sebesar 4,08% dan 3,39% (Tabel 1) dan mampu berkontribusi terhadap peningkatan pH tanah. Peningkatan pH sejalan dengan penurunan Al³⁺ disamping juga adanya pengaruh dari kandungan Ca dan Mg. Nilai pH tertinggi dicapai pada musim tanam kedua atau dua musim setelah aplikasi biochar. Pada musim ketiga efek biochar terhadap kemasaman tanah meskipun nyata tapi mulai memudar terlihat dari aplikasi dosis 40 t ha⁻¹ hanya menghasilkan pH sekitar 6,0 dan Al³⁺ sekitar 0,171 cmol_e.



Gambar 1. pH H₂O dan Al³⁺ pada aplikasi biochar kulit buah kakao di lahan kering masam KP Taman Bogo, Lampung Timur selama tiga musim tanam. Perbedaan huruf menunjukkan perbedaan yang nyata antar perlakuan pada masing-masing musim tanam berdasarkan uji DMRT pada taraf nyata 95%.

Figure 1. pH H₂O and Al³⁺ in the application of cacao shell biochar in the acid upland of KP Taman Bogo, East Lampung for three planting seasons. The difference in letters showed a significant difference between treatments in each planting season based on the DMRT test at a 95% level of significance.

kg⁻¹. Kandungan Al³⁺ secara bertahap menurun sejalan dengan musim tanam (Gambar 1).

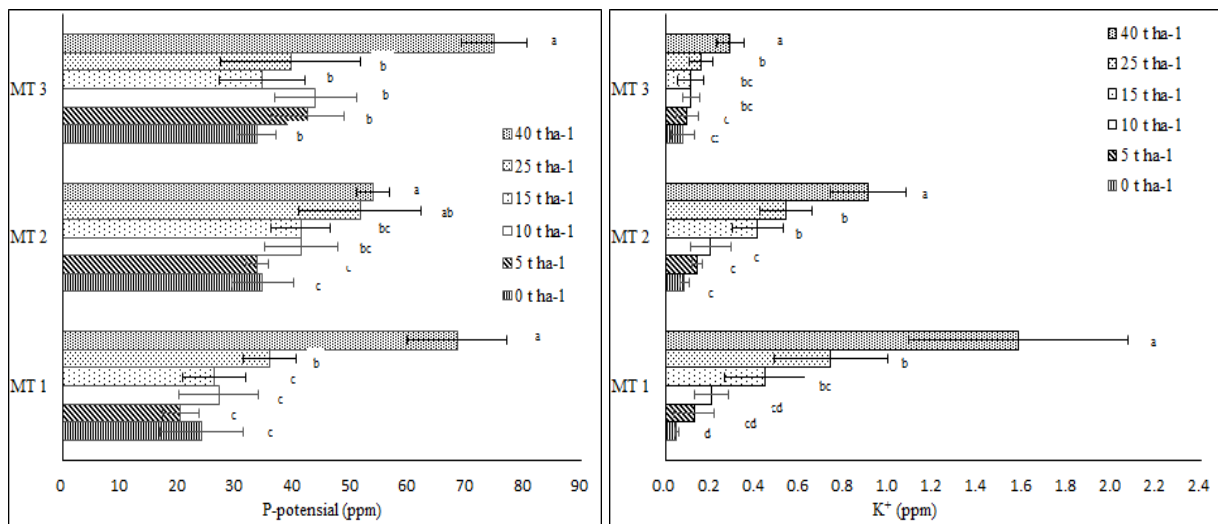
Pengaruh biochar kulit buah kakao terhadap peningkatan pH tanah sekaligus penurunan konsentrasi Al³⁺ di daerah tropikal basah juga disampaikan oleh beberapa peneliti dengan penggunaan dosis 15-200 t ha⁻¹ (Biederman dan Harpole 2013; Martinsen *et al.* 2015, Jeffery *et al.* 2017; Cornelissen *et al.* 2018; Nurida *et al.* 2019a). Cornelissen *et al.* (2018) juga menginformasikan adanya efek memudar dari aplikasi biochar kulit buah kakao 15 t ha⁻¹ terhadap kemasaman tanah dalam kurun waktu lima musim tanam di lahan kering masam Lampung.

Salah satu efek pemberian biochar adalah kemampuan menurunkan konsentrasi Al³⁺, sehingga tidak lagi berada pada konsentrasi yang bersifat meracuni (Alling *et al.* 2014). Menurut Shetty *et al.* (2020) meningkatnya kapasitas *liming effect* biochar sejalan dengan peningkatan dosis biochar, Al³⁺ akan diubah ke bentuk yang lebih rendah toksisitasnya yaitu dalam bentuk Al(OH)₃ dan Al(OH)₄. Lebih lanjut, biochar kulit buah kakao dikatakan memiliki kapasitas menetralkan kemasaman tanah (*acid neutralizing capacity*/ANZ) yang tinggi (Martinsen *et al.* 2015, Cornelissen *et al.* 2018).

Biochar kulit buah kakao tergolong biochar yang berkualitas baik, selain memiliki pH yang cukup tinggi (11), juga mengandung unsur hara makro yaitu 0,38% P, 1,58% K₂O, 3,39% Mg dan 4,08 Ca (Tabel 1).

Berdasarkan kandungan unsur makro tersebut, maka dengan dosis 5-40 t ha⁻¹ dapat dihitung besarnya kontribusi biochar kulit buah kakao terhadap kandungan hara pada masing-masing dosis adalah 19,0-151,9 kg ha⁻¹ P, 92,9-743,5 kg ha⁻¹ K, 169,5-1356 kg ha⁻¹ Mg dan 204,0-1632 kg ha⁻¹ Ca (Tabel 1). Semakin tinggi dosis biochar yang diberikan maka kontribusi hara terhadap tanah semakin besar.

Pemberian biochar kulit buah kakao 25 t ha⁻¹ dan 40 t ha⁻¹ masih mampu meningkatkan konsentrasi P-potensial sesudah 2 musim tanam, sedangkan kandungan P-potensial pada pemberian biochar dosis 5-15 t ha⁻¹ tidak berbeda nyata dengan kontrol (tanpa biochar) (Gambar 2). Pada musim tanam ketiga, P-potensial pada pemberian biochar 5-25 t ha⁻¹ mengalami penurunan dibandingkan dengan musim tanam kedua, sedangkan pemberian biochar 40 t ha⁻¹ masih memberikan hasil tertinggi. Aplikasi biochar kulit buah kakao 40 t ha⁻¹ menghasilkan kandungan P-potensial yang stabil selama tiga musim tanam. Peningkatan pH yang stabil dan tingginya keberadaan rongga-rongga dalam biochar dosis 40 t ha⁻¹ membantu mempertahankan kandungan P dalam tanah selama tiga musim tanam. Peningkatan P-potensial menunjukkan bahwa biochar dapat berfungsi menjadi agensia *nutrient slow release*. P tersedia yang berasal dari pupuk P diadsorp ke dalam pori-pori biochar dan atau oleh polar dan non polar site, kemudian P akan pelan-pelan dilepaskan. (Biederman Harpole 2013; Hale *et al.* 2013; Glaser and Lehr 2019).



Keterangan: MT= Musim Tanam.

Gambar 2. P potensial dan K potensial pada aplikasi biochar kulit buah kakao di lahan kering masam KP Taman Bogo, Lampung Timur selama tiga musim tanam. Perbedaan huruf menunjukkan perbedaan yang nyata antar perlakuan pada masing-masing musim tanam berdasarkan uji DMRT pada taraf nyata 95%.

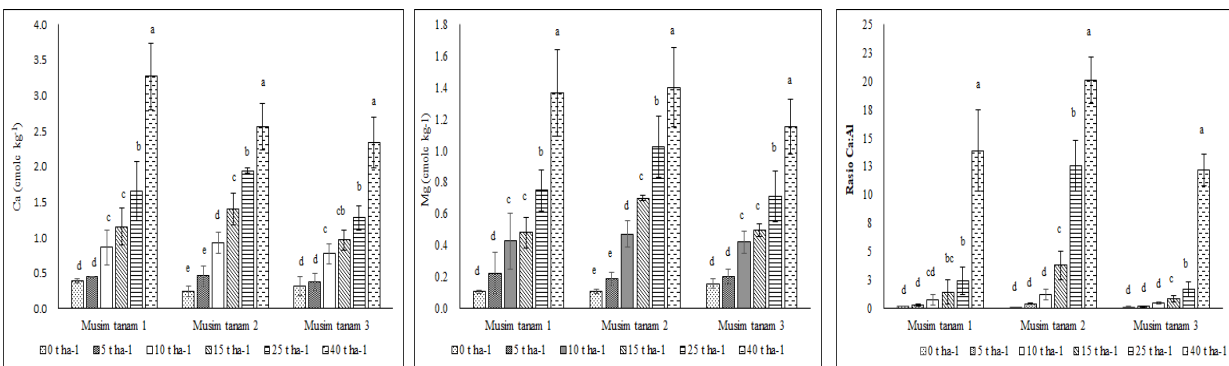
Figure 2. Potential P and K in the application of cacao shell biochar in the acid upland of KP Taman Bogo, East Lampung for three planting seasons. The difference in letters showed a significant difference between treatments in each planting season based on the DMRT test at a 95% level of significance.

Pengaruh pemberian biochar pada kandungan K^+ terlihat jelas di musim tanam pertama (Gambar 2). Pengaruh tersebut semakin menurun pada musim selanjutnya, ditandai dengan semakin rendahnya kandungan K^+ pada musim tanam kedua dan ketiga. Pada musim tanam pertama, perlakuan biochar dengan dosis 5-10 t ha⁻¹ tidak meningkatkan kandungan K^+ secara nyata jika dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Peningkatan kandungan K^+ terjadi pada dosis 15-40 t ha⁻¹ dan berbeda nyata dengan kontrol di musim tanam pertama. Pada musim tanam kedua masih dengan tren yang sama seperti musim tanam pertama, kandungan K^+ hanya meningkat secara nyata pada perlakuan biochar dengan dosis 15-40 t ha⁻¹. Di musim tanam ketiga, semua kandungan K^+ pada semua perlakuan menurun jika dibandingkan dengan musim tanam pertama dan kedua. Pada musim tanam ketiga hanya pemberian biochar 25 dan 40 t ha⁻¹ yang berbeda nyata dengan kontrol.

Gambar 3 menunjukkan bahwa pemberian biochar kulit buah kakao mempengaruhi kandungan Ca, Mg, dan juga rasio molar Ca/Al. Kandungan Ca mengalami penurunan setelah tiga musim tanam, kandungan Ca pada musim tanam ketiga lebih rendah dibandingkan dengan musim tanam pertama dan kedua. Selama tiga musim tanam pemberian biochar kulit buah kakao 10-40 t ha⁻¹ secara nyata meningkatkan kandungan Ca dibandingkan dengan kontrol, namun respon paling nyata terjadi pada pemberian biochar 40 t ha⁻¹. Respon yang sama ditunjukkan oleh kandungan Mg²⁺ setelah tiga musim tanam pada pemberian biochar kulit buah kakao 10-40 t ha⁻¹. Peningkatan tertinggi kandungan Mg terjadi pada dosis 40 t ha⁻¹ selama tiga musim tanam.

Pada umumnya bentuk Ca dan Mg dalam biochar berbentuk karbonat (Hailegnaw *et al.* 2019) dan Ca merupakan unsur hara yang dapat digunakan untuk menetralkan Al³⁺ (Vanguelova *et al.* 2007), sehingga rasio Ca/Al dapat digunakan untuk menggambarkan kemampuan biochar dalam menetralkan Al. Selama tiga musim tanam, pemberian biochar kulit buah kakao 15-40 t ha⁻¹ memberikan nilai rasio Ca/Al nyata lebih tinggi dibandingkan dengan dengan kontrol, tertinggi dicapai pada pemberian biochar 40 t ha⁻¹. Nilai rasio molar Ca/Al terbaik terjadi pada musim tanam kedua kemudian, rasio molar Ca/Al kembali menurun pada musim tanam ketiga (Gambar 3) sejalan dengan penurunan kandungan Ca (Gambar 3). Penurunan rasio Ca/Al terjadi karena proses pencucian (*leaching*), sehingga kation-kation basa hilang dari larutan tanah. Glasser *et al.* (2002) menyatakan bahwa, bentuk-bentuk kation tersedia (*available cations*) pada biochar berasal dari abu, sehingga kation-kation tersebut juga mudah hilang akibat pelindian (*leaching*).

Secara umum, kandungan Ca, Mg dan rasio Ca/Al tertinggi diperoleh pada aplikasi biochar kulit buah kakao adalah dosis 40 t ha⁻¹ (dosis tertinggi biochar pada percobaan ini). Hasil penelitian Hailegnaw *et al.* (2019) menunjukkan bahwa dua dosis biochar tertinggi (4% dan 8%) memberikan efek terbaik dalam meningkatkan Ca dan Mg khususnya pada tanah-tanah dengan kandungan Ca dan Mg rendah. Selain kontribusi hara dari biochar sendiri, mekanisme lain yang terjadi adalah terjadi peningkatan retensi unsur hara oleh biochar yang terkait dengan luas permukaan, muatan negatif permukaan, dan kerapatan muatan biochar (Liang *et al.* 2006; Li *et al.* 2018; Munera-echeverri *et al.* 2018).



Gambar 3. Kandungan Ca, Mg dan rasio molar Ca/Al pada aplikasi biochar kulit buah kakao di lahan kering masam selama tiga musim tanam. Perbedaan huruf menunjukkan perbedaan yang nyata antar perlakuan pada masing- masing musim tanam berdasarkan uji DMRT pada taraf nyata 95%.

Figure 3. Ca and Mg content and molar ratio in the application of cacao shell biochar in the acid upland of KP Taman Bogo, East Lampung for three planting seasons. The difference in letters showed a significant difference between treatments in each planting season based on the DMRT test at a 95% level of significance.

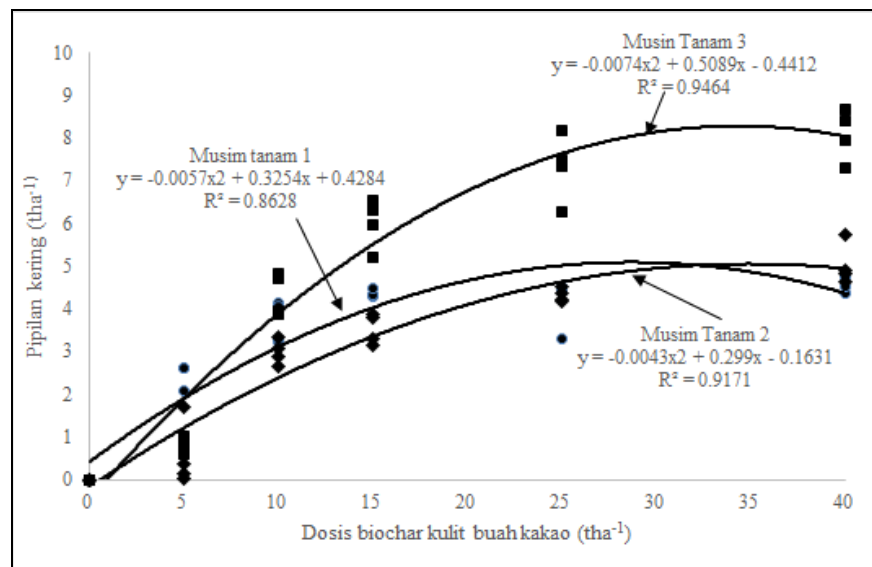
Hasil Jagung

Pengujian beberapa taraf dosis biochar kulit buah kakao dilanjutkan selama tiga musim. Variasi efektivitas biochar pada musim-musim setelah aplikasi menunjukkan pola yang menarik (Gambar 4). Pada setiap musim tanam terjadi perbedaan respon hasil pipilan kering terhadap dosis biochar kulit buah kakao. Pada musim tanam pertama hasil pipilan kering cukup responsif terhadap penambahan biochar kulit buah kakao ($R^2=0,8628$) demikian juga pada musim tanam kedua ($R^2= 0,9171$). Pada musim pertama dan kedua, respon hasil pipilan kering tidak terlalu besar terlihat dari kurva yang masih landai. Berbeda dengan pada musim tanam ketiga, hasil pipilan kering sangat respon terhadap perbedaan dosis kulit buah kakao ($R^2=0,9464$). Hal ini menunjukkan pengaruh pemberian biochar kulit buah kakao pada musim pertama memiliki efek residu yang cukup besar pada musim tanam selanjutnya (Jeffery *et al.* 2017; Cornelissen *et al.* 2018; Nurida *et al.* 2019a).

Berdasarkan persamaan kuadrat pada setiap musim tanam (Gambar 4), pada musim tanam pertama diperoleh dosis optimum biochar kulit buah kakao sebesar 28,51 t ha⁻¹, dengan hasil pipilan kering sebesar 5,06 t ha⁻¹. Pada musim kedua, dosis optimum diperoleh pada pemberian 34,77 t ha⁻¹, dengan hasil pipilan kering sebesar 5,03 t ha⁻¹ artinya pada lahan kering masam yang telah terdegradasi di KP taman Bogo dibutuhkan dosis yang lebih tinggi

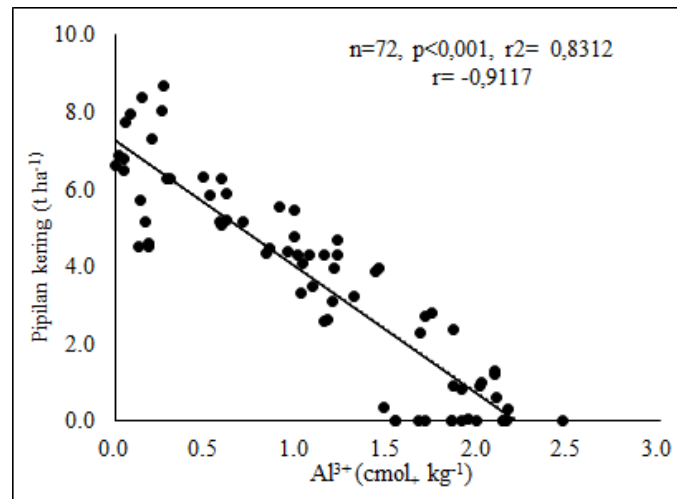
untuk mampu menghasilkan pipilan kering sebesar 5,03 t ha⁻¹ hampir setara dengan hasil yang diperoleh pada musim tanam pertama. Pada musim ketiga dicapai dosis optimum biochar kulit buah kakao sebesar 34,39 t ha⁻¹, menghasilkan pipilan kering sebesar 8,31 t ha⁻¹. Pada dosis optimum yang hampir sama dengan pada musim kedua, diperoleh hasil yang lebih tinggi, menunjukkan adanya peningkatan efektivitas biochar kulit buah kakao setelah tiga musim tanam. Data empiris tersebut, membuktikan bahwa untuk lahan kering masam di KP Taman Bogo yang telah mengalami degradasi dibutuhkan dosis yang cukup besar untuk tanaman jagung dapat berproduksi dengan optimal. Tanpa pemberian biochar, hampir tidak ada tanaman jagung yang tumbuh sehingga tidak diperoleh hasil jagung, maka untuk meningkatkan hasil selama tiga musim tanam diperlukan biochar kulit buah kakao dengan dosis cukup tinggi yaitu hampir 35 t ha⁻¹ yang diberikan pada musim pertama agar mampu mendukung pertumbuhan tanaman.

Hasil penelitian selama tiga musim tanam menunjukkan adanya efektivitas yang tinggi dari pemberian biochar kulit buah kakao terhadap peningkatan hasil jagung. Hal tersebut dapat terjadi dikaitkan dengan tingginya pH dan kandungan hara makro pada biochar kulit buah kakao (Tabel 1). Biochar kulit buah kakao secara efektif dapat meningkatkan sifat kimia tanah yang berhubungan dengan kemasaman tanah. Beberapa penelitian sebelumnya telah membuktikan kemampuan



Gambar 4. Kurva respon hasil pipilan kering jagung terhadap pemberian biochar kulit buah kakao di lahan kering masam KP Taman Bogo, Lampung Timur selama tiga musim tanam.

Figure 4. Estimated (curves) response in dry grain following the addition of cacao shell biochar in the acid upland of KP Taman Bogo, East Lampung for three planting seasons



Gambar 5. Korelasi hasil pipilan kering dengan kandungan Al^{3+} pada aplikasi biochar kulit buah kakao di lahan kering masam di KP Taman Bogo, Lampung Timur.

Figure 5. Correlation between maize dry grain and Al^{3+} content in the application of cacao shell biochar on the acid upland in KP Taman Bogo, East Lampung.

biochar kulit buah kakao dalam meningkatkan pH (Martinsen *et al.* 2015; Cornelissen *et al.* 2018; Nurida *et al.* 2019; Hale *et al.* 2020), dan menyuplai unsur hara makro (Nurida *et al.* 2015; Nurida *et al.* 2019b).

Hasil korelasi kandungan Al^{3+} dengan hasil pipilan kering jagung (Gambar 5) menunjukkan bahwa peningkatan hasil pipilan kering jagung berkorelasi negatif erat ($r=-0,9117$) dengan tingkat kemasaman tanah khususnya kandungan Al^{3+} , Semakin tinggi kandungan Al^{3+} maka hasil pipilan kering jagung semakin rendah. Kendala utama lahan kering masam adalah kemasaman tanah yang bersumber dari tingginya kandungan Al^{3+} , sehingga ketika kandungan Al^{3+} dapat ditekan dengan pemberian biochar kulit buah kakao maka hasil tanaman meningkat dengan signifikan (Martinsen *et al.* 2015; Cornelissen *et al.* 2018; Nurida *et al.* 2019b; Hale *et al.* 2020).

Kesimpulan

Selama tiga musim tanam, pemberian biochar kulit buah kakao dosis 15-40 t ha⁻¹ mampu memperbaiki sifat tanah seperti peningkatan pH tanah, penurunan kandungan Al^{3+} , peningkatan kandungan P potensial, K potensial, kandungan Ca dan Mg serta rasio Ca/Al. Respon terbaik terhadap perbaikan sifat tanah terjadi pada pemberian biochar 40 t ha⁻¹, namun mulai terjadi efek memudar pada musim tanam ketiga. Efektivitas pemberian biochar kulit buah kakao dalam meningkatkan hasil pipilan jagung meningkat pada musim tanam kedua dan ketiga dengan dosis optimum sebesar 34,8 t ha⁻¹ dan 34,4 t ha⁻¹ dan memberikan hasil pipilan kering masing-masing sebesar 5,03 t ha⁻¹ dan 8,31 t ha⁻¹. Hasil jagung pipilan kering

berkorelasi negatif dengan kandungan Al^{3+} ($r=0,9117$; $p<0,001$). Biochar kulit buah kakao sangat prospektif untuk ameliorasi lahan kering masam dan peningkatan produktivitas jagung. Dibutuhkan dosis yang cukup tinggi, yaitu 35 t ha⁻¹ pada musim tanam pertama tanpa pemberian lagi pada dua musim tanam berikutnya.

Daftar Pustaka

- Adam JC. 2009. Improved and more environmentally friendly charcoal production system using a low-cost retort-kiln (Eco-charcoal). *Renewable Energy* 34:1923-1925
- Alling V, Hale SE, Martinsen V, Mulder J, Smebye A, Breedveld GD, Cornelissen G. 2014. The role of biochar in retaining nutrients in amended tropical soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2014, 177, 671–680.
- Agegnehu G, Nelson PN, Bird MI. 2016. Crop yield, plant nutrient uptake and soil physicochemical under organic soil amendments and nitrogen fertilization on Nitisols. *Soil Till Res* 160: 1-3.
- Biederman L and Harpole WS. 2013. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *GCB Bioenergy* 5, 202–214, doi: 10.1111/gcbb.12037.
- Biederman L and Harpole WS, 2013. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *GCB Bioenergy* 5, 202–214, doi: 10.1111/gcbb.12037
- Bruun F, Petersen C, Hansen E, Holm JK, Hauggaard-Neilsen H. 2014. Biochar amendment to coarse sandy subsoil improves rootgrowth and increases water retention. *Soil Use Manag.* 30:109-118.
- Bonanomi G, Ippolito F, Cesarano G, Nanni B, Lombardi N, Rita A.. 2017. Biochar as plant growth promoter:

- better off alone or mixed with organic amendments? *Front. Plant Sci.* 8, 1570
- Cornelissen G, Jubaedah, Nurida NL, Hale SE, Martinsen V, Silvani L, Mulder J. 2018. Fading positive effect of biochar on crop yield and soil acidity during five growth seasons in an Indonesian Ultisol. *Science of the Total Environment* 634: 561–568.
- Crane-Droesch A, Abiven S, Jeffery S, Torn MS. 2013. Heterogeneous global crop yield response to biochar: a meta-regression analysis. *Environ Res Lett.* 8 (4).
- Glaser B and Lehr VI. 2019. Biochar effects on phosphorus availability in agricultural soils: A meta-analysis. *Scientific Reports* 9:9338. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45693-z>.
- Hailegnaw NS, Mercl F, Pračke K, Száková J, Tlustoš P. Mutual relationships of biochar and soil pH, CEC, and exchangeable base cations in a model laboratory experiment. 2019. *Journal of Soils and Sediments*. <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02264-z>.
- Hale SE, Alling V, Martinsen V, Mulder J, Breedveld GD, Cornelissen G. 2013. The sorption and desorption of phosphate-P, ammonium-N and nitrate-N in cacao shell and corn cob biochars. *Chemosphere* 91: 1612–1619.
- Hale SE, Nurida NL, Jubaedah, Mulder J, Sarmo E, Silvani L, Abiven L, Joseph S, Taherymoosavi S, Cornelissen G. 2020. The effect of biochar, lime and ash on maize in long-term field trial in a Ultisol in humid tropics. *Science of the Total Environment*. 719: 1-9. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137455>.
- Haefele SM, Konboon Y, Wongboon W, Amarante S, Maarifat AA, Pleiffer EM, Knoblauch C. 2011. Effects and fate of biochar from rice residues in rice-based systems. *Field Crop Res.* 121 (3), 430–440. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.01.014>
- Harel YM, Elad Y, Rav-David D, Borenstein M, Shulchani R, Lew B. 2012. Biochar mediates systemic response of strawberry to foliar fungal pathogens. *Plant Soil* 357, 245–257.
- Jeffery S, Verheijen FGA, van der Velde M, Bastos AC. 2011. A quantitative review of the effects of biochar application to soil on crop productivity using metaanalysis. *Agriculture Ecosystems & Environment*. 144(1): 175-187.
- Jin L, Wei D, Yin D, Zhou B, Ding J, Wang W, Zhang J, Qiu S, Zhang C, Li Y, An Z, Gu J, 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. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238883>.
- Jeffery S, Verheijen FGA, van der Velde M, Bastos AC. 2011. A quantitative review of the effects of biochar application to soil on crop productivity using metaanalysis. *Agriculture Ecosystems & Environment*. 144(1): 175-187.
- Jeffery S, Bezemer TM, Cornelissen G, Kuyper TW, Lehmann J, Mommer L. 2015. The way forward in biochar research: targeting trade-offs between the potential wins. *Glob. Change Biol. Bioenergy*. 7:1–13. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12132>.
- Jeffery S, Abalos D, Prodana M, Batos AC, van Groenigen JW. 2017. Biochar boosts tropical but not temperate crop yield. *Environ. Res. Lett.* 12.053001.
- Laird DA, Fleming P, Davis DD, Horton R, Wang B, Karlen DL. 2010. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. *Geoderma* 158: 443–449
- Lehmann J and Rondon M. 2006. Bio-char soil management on highly weathered soils in 23 humid tropic In N. Uphoff (Eds.). *Biological Approaches to Sustainable Soil System*. P 24 517-530. CRP Press. USA
- Lehmann J., 2007. A handful of carbon. *Nature* 447:143–144. <https://doi.org/10.1038/447143a>.
- Li S, Barreto V, Li R, Chen G, Hsieh YP. 2018. Nitrogen retention of biochar derived from different feedstocks at variable pyrolysis temperatures. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 133: 136–146.
- Liang F, Li G, Lin Q, Zhao X. 2014. Crop yield and soil properties in the first 3 years after biochar application to a calcareous soil. *J. Integr. Agric.* 13, 525–532.
- Liu X, Zhang A, Ji C, Joseph S, Bian R, Li L, Pan G, Ferreira JP. 2013. Biochar's effect on crop productivity and the dependence on experimental conditions—a meta-analysis of literature data. *Plant and Soil* 373: 583-594. DOI 10.1007/s11104-013-1806-x.
- Major J, Lehmann J, Rondon M, Goodale C. 2010. Fate of soil-applied black carbon: downward migration, leaching and soil respiration. *Glob. Chang. Biol.* 16: 1366–1379. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02044.x>.
- Martinsen V, Mulder J, Shitumbanuma V, Sparrevik M, Børresen T, Cornelissen G. 2014. Farmer-led maize biochar trials: Effect on crop yield and soil nutrients under conservation farming. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 171: 1–15.
- Martinsen V, Alling V, Nurida NL, Mulder J, Hale SE, Ritz C, Rutherford DW, Heikens A, Breedveld GD, Cornelissen G. 2015. pH effects of the addition of three biochars to acidic Indonesian mineral soils. *Soil Science and Plant Nutrition*. DOI: 10.1080/00380768.2015.1052985.
- Mehari, ZH, Elad Y., Rav-David D., Graber ER, Harel YM. 2015. Induced systemic resistance in tomato (*Solanum lycopersicum*) against *Botrytis cinerea* by biochar amendment involves jasmonic acid signaling. *Plant Soil* 395, 31–44.
- Mia S, van Groenigen JW, van de Voorde TFJ, Oram NJ, Bezemer TM, Mommer L, Jeffery S. 2014. Biochar

- application rate affects biological nitrogen fixation in red clover conditional on potassium availability. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 191:83-91.
- Munera-Echeverri JL, Martinsen V, Strand LT, Zivanovic V, Cornelissen G, Mulder J. 2018. Cation exchange capacity of biochar: An urgent method modification. *Science of the Total Environment* 642: 190–197
- Nurida NL, A. Dariah, S. Sutono. 2015. Pembenh tanah alternatif untuk meningkatkan produktivitas tanah dan tanaman kedelai di lahan kering masam. *Jurnal Tanah dan Iklim* 39(2): 99-109.
- Nurida LN, Jubaedah, Dariah A. 2019a. Produktivitas padi gogo pada lahan kering masam akibat aplikasi pembenh tanah biochar. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*. 3(2): 67-74
- Nurida NL dan Jubaedah. 2019b. Formulation of biochar based soil amendmend for improvement of upland acidic soil in East Lampung: Soil properties and Maze (*Zea mays*) yield. *J Trop Soils*, Vol. 24, No. 1, 2019: 33-41. DOI: 10.5400/jts.2019.v24i1.33
- Nurida NL dan Muchtar. 2020. Aplikasi biochar kulit buah kakao pada tanah lempung liat berpasir: Sifat fisik tanah dan hasil jagung. *Jurnal Tanah dan Iklim* 44 (2):117-127
- Obia A, Mulder J, Martinsen V, Cornelissen G, Borresen T. 2016. In situ effects of biochar on aggregation, water retension and porosity in light-textured tropical soil. *Soil Tillage Res.* 155: 35-44.
- Obia A, Børresen T, Martinsen V, Cornelissen G, Mulder J. 2017. Effect of biochar on crust formation, penetration resistance and hydraulic properties of two coarsetextured tropical soils. *Soil Tillage Res.* 170, 114–121.
- Ramon C, Freud RJ, Spector PC. 1992. SAS Systems for Linier Models, Third Edition. SAS Series in Statistical Applications. SAS Instutute Inc.pp. 329.
- Shetty R and Prakash BN. 2020. Effect of different biochars on acid soil and growth parameters of rice plants under aluminium toxicity. *Scientific Reports* 10:12249. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69262-x>.
- Sun CX, Chen X, Cao MM, Li MQ, Zhang YL. 2017. Growth and metabolic responses of maize roots to straw biochar application at different rates. *Plant and Soil* 416: 487–502. DOI 10.1007/s11104-017-3229-6.
- Steiner C, Teixeira WG, Lehmann J, Nehls T, de Macêdo JLV, Blum WEH, Zech W. 2007. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant soil* 291: 275-290
- Vanguelova EI, Hirano Y, Eldhuset TD, Sas-Paszt L, Bakker MR, Püttsepp U, Brunner I, Löhmus K, Godbold D. 2007. Tree fine root Ca/Al molar ratio – Indicator of Al and acidity stress, *Plant Biosystems*, 141:3, 460-480.
- Warnock D, Lehmann J, Kuyper T, Rillig M, 2007. Mycorrhizal responses to biochar in soil – concepts and mechanisms. *Plant Soil* 300:9–20. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9391-5>.