

Aplikasi Biochar Kulit Buah Kakao pada Tanah Lempung Liat Berpasir: Sifat Fisik Tanah dan Hasil Jagung

Cacao Shell Biochar Application on a Sandy Clay Loam Soil: Soil Physical Properties and Maize Yield

Neneng Laela Nurida^{1*}, Muchtar²

¹ Balai Penelitian Tanah, Jalan Tentara Pelajar No 12, Cimanggu, Bogor 16124, Jawa Barat, Indonesia

² Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Sulawesi Tengah, Jalan Poros Palu-Kulawi KM 17, Maku Dolo, Sigi 94361, Sulawesi Tengah, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 12 Juni 2020
Disetujui: 9 Agustus 2020
Dipublikasi online: 24 Agustus 2020

Kata Kunci:

Ketersediaan air
Porositas
Biochar
Produktivitas
Residu

Keywords:

Water availability
Porosity
Biochar
Productivity
Residue

Direview oleh:

Rizatus Shofiyati, Ai Dariah,
Antonius Kasno

Abstrak. Biochar mempunyai struktur yang sangat porus, ketika diberikan ke dalam tanah mampu mempengaruhi sifat fisik tanah. Penelitian bertujuan untuk menguji aplikasi biochar kulit buah kakao, kapur, dan abu biochar (hasil pembakaran lebih lanjut dari biochar) terhadap perbaikan sifat fisik tanah dan hasil jagung di lahan kering dengan tekstur lempung liat berpasir. Penelitian dilaksanakan selama tiga musim tanam dari bulan Februari 2016 hingga Februari 2017 dengan menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) empat ulangan, dengan perlakuan: 1) kontrol; 2) biochar 15 t ha⁻¹; 3) kapur 6 t ha⁻¹; 4) abu setara biochar 15 t ha⁻¹; 5) biochar 7,5 t ha⁻¹ + kapur 3 t ha⁻¹, dan 6) biochar 15 t ha⁻¹ dicuci. Hasil penelitian menunjukkan bahwa selama tiga musim tanam, *Bulk Density* (BD) tanah yang diberi biochar 15 t ha⁻¹ baik dicuci maupun tidak, nyata lebih rendah (1,05-1,11 g cm⁻³) dibandingkan kontrol (1,10-1,21 g cm⁻³), sebaliknya BD tanah yang diberi abu konsisten meningkat hingga musim tanam ketiga. Pori air tersedia meningkat secara signifikan dengan pemberian biochar. Peningkatan kemampuan memegang air meningkat pada musim ketiga pada tanah yang diberi amelioran biochar. Selama tiga musim tanam, tanah yang diberi abu setara biochar 15 t ha⁻¹ secara konsisten mempunyai ruang pori total yang rendah dan BD yang paling tinggi. Aplikasi biochar 15 t ha⁻¹ dan abu setara biochar 15 t ha⁻¹ mampu meningkatkan hasil pipilan jagung menjadi 7,24-11,43 t ha⁻¹ dibandingkan kontrol (6,11-7,25 t ha⁻¹) dan efek residunya mampu bertahan hingga tiga musim tanam.

Abstract. Biochar has a very porous structure and it affects various soil physical properties. The objective of study was to evaluate the application of biochar, lime and ash to improve soil physical properties and maize yield in upland with sandy clay loam texture. The study was conducted at the research station of Indonesian Soil Research Institute, East Lampung for three seasons from February 2016 to February 2017. We used a randomized block design with four replication. Treatments are: 1) control, 2) biochar 15 t ha⁻¹, 3) lime 6 t ha⁻¹, 4) ash 15 t ha⁻¹, 5) biochar 7.5 t ha⁻¹ + lime 3 t ha⁻¹, and 6) washed biochar 15 t ha⁻¹. The results showed that during three seasons, application of biochar 15 t ha⁻¹ (with and without washed) significantly reduced BD (1.08-1.09 g cm⁻³) but the ash application consistently increased BD. During the three seasons, the water holding capacity increased by applying biochar in various forms (biochar, ash or washed biochar) but the same did not show in lime application. The ash addition 15 t ha⁻¹ consistently had low total soil porosity and high BD. Both application of biochar of 15 t ha⁻¹ and ash of 15 t ha⁻¹ increased maize yield (7,24-11,43 t ha⁻¹) compared to control (6,11-7,25 t ha⁻¹) and the residual effects lasted for three cropping seasons.

Pendahuluan

Biochar adalah padatan kaya karbon hasil konversi biomasa melalui proses pirolisis. Manfaat biochar untuk lahan pertanian telah banyak diteliti baik di daerah tropis maupun daerah subtropis sebagai amelioran untuk meningkatkan sekuestrasi karbon, memperbaiki sifat tanah serta meningkatkan hasil tanaman. Respon yang diperoleh sangat bervariasi tergantung bahan baku, proses pembuatan (pirolisis), jenis tanah dimana biochar

diaplikasikan dan cara aplikasinya (Laird *et al.* 2010; Spokas *et al.* 2012; Mukherjee dan Lal 2013). Pengaruh pemberian biochar terhadap sifat kimia tanah telah banyak dilaporkan melalui serangkaian penelitian di lahan kering yang bertujuan untuk menanggulangi kemasaman tanah, meningkatkan retensi air dan hara serta sekuestrasi karbon (Nurida 2014; Cornelissen *et al.* 2018; Pandit *et al.* 2018; Kätterer *et al.* 2019). Berdasarkan hasil meta analisis diketahui bahwa biochar paling efektif diberikan pada tanah masam, tanah terdegradasi, dan tanah dengan tekstur

* Corresponding author: lelanurida@yahoo.com

berpasir (Jeffery *et al.* 2011; Crane-Droesch *et al.* 2013). Namun demikian, respon tanah terhadap pemberian biochar sangat tergantung pada mekanisme interaksi yang kompleks antara biochar, tanah, dan tanaman sehingga efektivitasnya di lahan pertanian sangat heterogen (Lychuck *et al.* 2014).

Biochar mempunyai struktur yang sangat porus, ketika diberikan ke dalam tanah dapat mempengaruhi sifat fisik tanah seperti porositas, distribusi ukuran pori, *Bulk Density* (BD), kapasitas tanah memegang air, kadar air tersedia bagi tanaman, infiltrasi, konduktivitas hidrolis dan agregasi (Sohi *et al.* 2010; Verheijen *et al.* 2010; Sutono dan Nurida 2012; Sukartono dan Utomo 2012; Yu *et al.* 2013; Herarth *et al.* 2013; Kameyama *et al.* 2016; Obia *et al.* 2018). Shaaban *et al.* (2013) mendapatkan bahwa efektivitas biochar dalam meningkatkan kemampuan tanah menahan air lebih ditentukan oleh sifat fisiknya, seperti bentuknya yang berongga didominasi pori mikro dan meso. Hal tersebut sangat menguntungkan bagi pertumbuhan tanaman khususnya yang tumbuh di tanah berpasir mengingat terbatasnya luas permukaan spesifik.

Mekanisme biochar dalam mempengaruhi sifat fisik tanah telah banyak diteliti, namun hasilnya berbeda antar peneliti. Beberapa peneliti menyimpulkan bahwa efek biochar terhadap sifat fisik tanah terjadi melalui dua mekanisme yaitu: 1) penambahan biochar yang bersifat porus akan langsung mempengaruhi sifat fisik tanah seperti meningkatnya porositas, kapasitas tanah memegang air, dan menurunkan BD tanah (Baso *et al.* 2013; de Melo Carvalho *et al.* 2014; Peake *et al.* 2014); dan 2) pemberian biochar secara tidak langsung mendukung proses pembentukan struktur tanah dengan menciptakan habitat yang baik dan nyaman bagi mikroorganisme dan mendorong perkembangan akar di areal rizosfer (Joshep *et al.* 2010; Fletcher *et al.* 2014; Saletnik *et al.* 2018).

Berbagai penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa biochar potensial mendorong peningkatan retensi air pada tanah berpasir yang mempunyai nilai kapasitas air tersedia buat tanaman tergolong rendah (Sutono dan Nurida 2012; Suwardji *et al.* 2012; Basso *et al.* 2013; Abel *et al.* 2013; Hardie *et al.* 2014). Sebaliknya beberapa penelitian juga menginformasikan pengaruh positif biochar terhadap sifat fisik tanah seperti agregasi, porositas, dan retensi air pada tanah bertekstur liat (Liu *et al.* 2012; Sun dan Lie 2014). Kemampuan biochar dalam meretensi air secara fisik mengakibatkan air tidak cepat menghilang dari zona perakaran seperti sudah dibuktikan pada berbagai penelitian terdahulu (Nurida *et al.* 2009; Sutono dan Nurida 2012; Sukartono dan Utomo 2012; Yu *et al.* 2013).

Perbaikan kualitas tanah akibat penambahan biochar

harus berimplikasi pada peningkatan produktivitas tanaman. Peningkatan produktivitas tanaman dibandingkan tanpa diberi biochar sangat bervariasi. Hasil meta analisis Jeffery *et al.* (2011) untuk tanah tropikal dan temperate mendapatkan rata-rata peningkatan sebesar 10%, sedangkan Hageman *et al.* (2018) melaporkan hanya terdapat peningkatan sekitar 18% dari berbagai jenis tanah. Hasil penelitian di lahan masam Lampung Timur diperoleh peningkatan hasil jagung sebesar 2,0-4,3 t ha⁻¹ (Cornelissen *et al.* 2018) dan padi gogo sebesar 2,7-3,97 t ha⁻¹ (Nurida *et al.* 2019). Hasil observasi Jeffery *et al.* (2017) terdapat peningkatan hasil sebesar 25% di tanah tropikal dengan aplikasi biochar 15 t ha⁻¹.

Sumber bahan baku biochar umumnya berasal dari limbah pertanian seperti kulit buah kakao, sekam padi, tongkol jagung, batang ubi kayu, dan lainnya (Nurida 2014). Kulit buah kakao mampu menghasilkan biochar yang efektif untuk lahan pertanian dalam meningkatkan produktivitas jagung dan padi gogo serta menanggulangi kemasaman tanah (Nurida 2014; Cornelissen *et al.* 2018; Nurida *et al.* 2019; Hale *et al.* 2020). Dampak pemberian biochar terhadap produktivitas tanaman sangat tergantung pada karakteristik sifat biochar, dosis yang digunakan dan kemampuannya menanggulangi kendala utama tanah dimana biochar diaplikasikan.

Penelitian ini bertujuan untuk menguji aplikasi biochar, kapur, dan abu (hasil pembakaran lebih lanjut dari biochar) terhadap perbaikan sifat fisik tanah dan hasil jagung di lahan kering dengan tekstur tanah lempung liat berpasir. Produksi biochar merupakan salah satu pengelolaan limbah pertanian yang dapat dikembangkan mengingat sumber bahan bakunya cukup melimpah.

Bahan dan Metode

Penelitian dilaksanakan di Kebun Percobaan Balai Penelitian Tanah di Desa Taman Bogo, Kecamatan Purbolinggo, Lampung Timur pada koordinat 05⁰⁰.406' S; 105⁰⁹.405' E, dengan ketinggian tempat sekitar 300 m di atas permukaan laut dan curah hujan berkisar 2.000-2.500 mm th⁻¹. Penelitian dilaksanakan selama tiga musim tanam yaitu Februari -Mei 2016 (musim tanam pertama), Juli-November 2016 (musim tanam kedua) dan Nopember 2016-Februari 2017 (musim tanam ketiga). Jenis tanah di lokasi penelitian tergolong Typic Kanhapludults dengan kelas tekstur lempung liat berpasir (pada kedalaman 0-20 cm, kandungan pasir 50-51%, debu 14-19%, dan liat 31-35% (Tabel 1). Sifat kimia tanah cukup heterogen antar blok dan tergolong tanah yang sudah terdegradasi, terlihat dari pH tanah bersifat masam, kandungan C-organik

Tabel 1. Karakteristik tanah sebelum aplikasi perlakuan di KP Taman Bogo, Lampung Timur

Table 1. Soil characteristic before treatment application at Taman Bogo Research Station, East Lampung

Parameter	Pasir	Debu	Liat	pH H ₂ O	C-organik	KTK
%.....				%	cmol ₍₊₎ kg ⁻¹
Blok 1	50	16	34	5,2	1,01	9,16
Blok 2	51	15	34	5,0	1,09	8,95
Blok 3	50	19	31	5,1	1,19	8,87
Blok 4	51	14	35	4,7	1,04	8,56

tergolong rendah dan mempunyai Kapasitas Tukar Kation (KTK) sekitar 8,56-9,16 cmol₍₊₎ kg⁻¹ (Tabel 1).

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) empat ulangan, dengan ukuran petak percobaan 2 x 5 m (10 m²). Tanaman indikator adalah jagung (*Zea mays* L) varietas P27 yang ditanam dengan jarak tanam 25 cm x 75 cm. Perlakuan yang diuji adalah: 1) kontrol (hanya pupuk anorganik), 2) biochar 15 t ha⁻¹, 3) kapur 6 t ha⁻¹, 4) abu setara biochar 15 t ha⁻¹, 5) biochar 7,5 t ha⁻¹ + kapur 3 t ha⁻¹, dan 6) biochar 15 t ha⁻¹ dicuci.

Penggunaan pupuk anorganik sesuai dengan dosis rekomendasi di lokasi penelitian yaitu 300 t ha⁻¹ Urea dan 200 t ha⁻¹ Phonska. 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 menghindarkan kontak langsung dengan benih. Pengairan dilakukan dengan cara penyiraman menggunakan alat penyiram (gembor). Penyiangan dan pengendalian organisme pengganggu tanaman (OPT) disesuaikan dengan kebutuhan.

Biochar yang digunakan adalah biochar kulit buah kakao dengan dosis 15 t ha⁻¹. Biochar diproduksi dengan menggunakan alat Adam Retort Kiln (ARK) yang dirancang Adam (2008) dengan temperatur sekitar 250-350°C. Biochar dicacah dan diayak dengan ayakan 2 mm, biochar yang lolos ayakan lalu diaplikasikan dengan cara disebar di atas permukaan tanah. Dosis kapur 6 t ha⁻¹ merupakan dosis yang mampu meningkatkan pH tanah setara dengan biochar 15 t ha⁻¹. Dosis tersebut diperoleh melalui percobaan pendahuluan yaitu dengan cara membuat petak ukuran 25 x 25 cm di lokasi penelitian (sekitar petak percobaan), kemudian diberi perlakuan dosis kapur 2, 4, 6, 8, dan 10 t ha⁻¹. Satu petak dicampur dengan biochar dosis 15 t ha⁻¹, kemudian diinkubasi selama 10 hari dan diukur pH di laboratorium. Hasil analisis menunjukkan dosis kapur 6 t ha⁻¹ menghasilkan pH setara dengan biochar kulit buah kakao 15 t ha⁻¹.

Abu kulit buah kakao diperoleh dengan cara yang sama dengan produksi biochar hanya pembakaran dilanjutkan

hingga menjadi abu. Jumlah bahan baku kulit buah kakao yang dijadikan abu sama dengan jumlah bahan baku untuk menghasilkan biochar. Hasil pembakaran abu ditimbang, sehingga diketahui dosis abu yang ditambahkan ke dalam tanah yaitu sekitar 9,8 t ha⁻¹. Pencucian biochar dilakukan untuk menghilangkan atau mengurangi kandungan hara dalam biochar, Proses pencucian dimulai dengan cara menimbang biochar 15 t ha⁻¹ kemudian ditempatkan pada drum plastik yang memiliki lubang di bawahnya. Sejumlah volume air 75 L ditambahkan ke dalam drum hingga biochar terendam air, kemudian diaduk selama 30 menit lalu dibiarkan selama 24 jam. Selanjutnya air dikeluarkan dari drum dengan cara dialirkan melalui lubang di bagian bawah. Prosedur tersebut diulang tiga kali hingga diperoleh biochar yang sudah dicuci.

Semua amelioran disebar secara merata pada setiap plot sesuai perlakuan sebelum benih jagung ditanam, kemudian dicampur merata dengan tanah pada kedalaman 15-20 cm dengan menggunakan cangkul dan diinkubasi selama tujuh hari. Seluruh amelioran diberikan hanya pada musim tanam pertama, tidak diberikan lagi pada musim tanam berikutnya. Seluruh dosis pupuk Phonska diberikan pada saat tanam.

Bahan yang diuji dianalisis terlebih dahulu sebelum diaplikasikan di laboratorium Balai Penelitian Tanah meliputi parameter pH, H₂O, kadar air, C-organik (pengabuan), serta kandungan CaO dan MgO (pengabuan basah dengan HNO₃ dan HClO₄). Parameter sifat fisik tanah yang diukur adalah BD dan porositas tanah. Pengambilan contoh tanah dilakukan setiap musim tanam pada setiap petak perlakuan yaitu satu minggu sebelum panen, dengan menggunakan *ring sample* diameter 7,5 cm dan tinggi 4 cm. Contoh tanah dianalisis di Laboratorium Fisika Tanah Balai Penelitian Tanah. BD dan porositas diukur dengan menggunakan metode gravimetri. Parameter hasil tanaman jagung yang diamati adalah pipilan kering dan biomassa kering. Hasil jagung berupa pipilan kering dan biomassa kering ditimbang dari masing-masing plot perlakuan (10 m²) lalu dikonversi ke dalam hektar.

Analisis data dilakukan secara statistik terhadap sifat fisik tanah dan hasil tanaman, menggunakan *analysis of variance* (ANOVA) atau uji keragaman dengan selang kepercayaan 95%. Untuk melihat pengaruh beda nyata dari peubah akibat perlakuan serta interaksinya dilakukan uji jarak berganda *Duncan Multiple Range Test* (DMRT), pada taraf nyata 95% ($\alpha = 5\%$). Selain itu dilakukan uji t-test untuk mengetahui perbedaan antara parameter sifat tanah dan parameter komponen hasil.

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Kimia Bahan Amelioran yang Digunakan

Bahan amelioran yang digunakan mempunyai pH 9-11 sehingga berpotensi untuk menurunkan kemasaman tanah. Pembakaran lebih lanjut biochar menjadi abu menghasilkan sifat kimia yang lebih baik, kecuali pada parameter C-total, N-total, dan KTK. Kandungan hara yang terdapat dalam abu lebih tinggi dibandingkan biochar dan bahan lainnya. Pencucian biochar sebanyak tiga kali, terbukti menurunkan kandungan hara dalam biochar hampir 50%, penurunan kandungan hara N dan K sangat signifikan dari 4,05% menjadi 1,36%, terbukti pula bahwa proses pencucian tidak menghilangkan seluruh kandungan hara yang ada pada biochar.

Kapur yang digunakan mempunyai pH sekitar 9,20 masih lebih rendah dibandingkan pH biochar sebesar 10,20. Berbeda dengan biochar yang masih mengandung berbagai hara, keistimewaan kapur terletak pada kandungan Ca yang jauh lebih tinggi yaitu mencapai 40,25% sehingga diharapkan mampu meningkatkan pH dan kandungan Ca dalam tanah. Amelioran lainnya yaitu abu, biochar, dan biochar dicuci mempunyai kandungan C-total yang cukup tinggi khususnya biochar mencapai 36,76%, pengabuan dan pencucian menurunkan C-total secara drastis menjadi 7,94% dan 20,67%.

Tabel 2. Karakteristik bahan yang digunakan dalam penelitian

Table 2. Material characteristic used in this study

No.	Parameter	Satuan	Biochar kulit buah kakao	Kapur	Abu kulit buah kakao	Biochar dicuci
1.	pH H ₂ O	-	10,20	9,20	11,30	9,70
2.	Kadar air	%	10,46	0,39	20,44	23,17
3.	C-total	%	36,76	-	7,94	20,67
4.	N-total	%	1,71	-	0,51	0,79
5.	P ₂ O ₅ -total	%	0,59	-	1,82	0,30
6.	K ₂ O-total	%	4,05	-	19,47	1,39
7.	CaO	%	2,92	40,25	8,68	1,36
8.	MgO	%	1,47	0,56	3,66	0,79
9.	Kapasitas tukar kation	cmol ₍₊₎ kg ⁻¹	29,74	-	13,14	19,74

Sifat Fisik Tanah

Pemberian amelioran biochar mampu menurunkan BD tanah dibandingkan amelioran lainnya kecuali pada musim tanam kedua (Tabel 3). BD pada tanah yang diberi biochar 15 t ha⁻¹ baik dicuci maupun tidak, nyata lebih rendah (1,05-1,11 g cm⁻³), dan konsisten hingga musim tanam ketiga. Bila dibandingkan dengan kontrol, terlihat bahwa BD pada tanah yang diberi biochar selalu lebih rendah selama tiga musim tanam dengan perbedaan sebesar 4,5-8,3% (biochar 15 t ha⁻¹) dan 7,7-9,1% (biochar dicuci 15 t ha⁻¹) (Tabel 3). Sifat biochar yang porous dan mempunyai BD yang rendah yaitu 0,08-0,17 g cm⁻³ mampu berkontribusi terhadap penurunan BD tanah (Gundale dan Deluca 2006). Penurunan BD tanah dibandingkan dengan kontrol selama tiga musim tanam tidak terlalu besar masih, <10%, hal yang sama juga diperoleh dari penelitian Katterera *et al.* (2019) selama 10 tahun di Kenya pada tanah berpasir yang mendapatkan pengaruh biochar secara konsisten mampu menurunkan BD rata-rata sebesar 13%. Pemberian abu meningkatkan BD tanah (0,8-7,3%) dibandingkan kontrol selama tiga musim tanam. Beberapa penelitian terdahulu juga menginformasikan bahwa rendahnya kontribusi abu terhadap penurunan BD tanah diduga terkait dengan porositas abu yang lebih rendah dibandingkan biochar (Guo *et al.* 2002; Kinney *et al.* 2012). Proses pencucian biochar tidak mempengaruhi kemampuan biochar dalam menurunkan BD tanah berpasir, namun lebih terlihat dalam penurunan kandungan haranya (Tabel 3).

Pada Tabel 4 diperlihatkan bahwa porositas tanah khususnya ruang pori total sejalan dengan perkembangan BD tanah, meskipun pada musim tanam kedua tidak terjadi perbedaan yang signifikan antar amelioran maupun dengan kontrol, namun setelah tiga musim tanam terlihat bahwa porositas tanah yang diberi abu konsisten paling rendah. Tingginya porositas biochar yang mampu mencapai 80% vol. (Kinney *et al.* 2012) dapat membantu meningkatkan porositas tanah. Berdasarkan hasil

Tabel 3. Bulk Density (BD) tanah selama tiga musim tanam pada tanah bertekstur lempung liat berpasir di KP Taman Bogo, Lampung Timur

Table 3. Soil Bulk Density (BD) of sandy clay loam for three seasons at Taman Bogo Research Station, East Lampung

Perlakuan	Musim tanam I		Musim tanam II		Musim tanam III	
	g cm ⁻³	% ¹	g cm ⁻³	% ¹	g cm ⁻³	% ¹
Kontrol	1,17 ab	-	1,10 a	-	1,21 a	-
Biochar 15 t ha ⁻¹	1,09 b	-6,8	1,05 a	-4,5	1,11 b	-8,3
Kapur 6 t ha ⁻¹	1,20 ab	2,6	1,12 a	1,8	1,20 a	-0,8
Abu setara biochar 15 t ha ⁻¹	1,23 a	5,1	1,18 a	7,3	1,22 a	0,8
Biochar 7,5 t ha ⁻¹ +kapur 3 t ha ⁻¹	1,17 ab	0,0	1,13 a	2,7	1,08 b	-10,7
Biochar dicuci 15 t ha ⁻¹	1,08 b	-7,7	1,10 a	0,0	1,10 b	-9,1

Angka pada kolom yang sama yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf nyata 95%

¹ Peningkatan dibandingkan kontrol

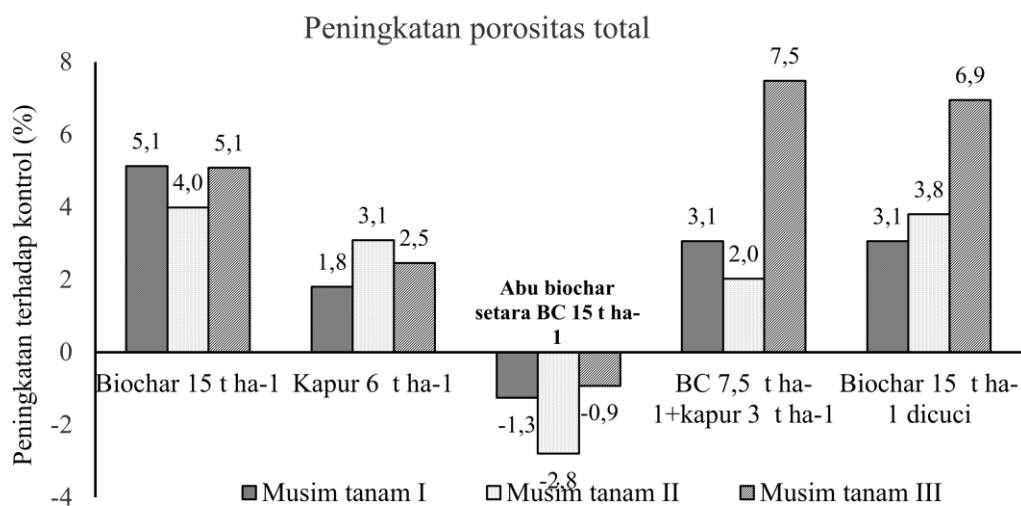
Tabel 4. Porositas tanah selama tiga musim tanam pada tanah bertekstur lempung liat berpasir di KP Taman Bogo, Lampung Timur

Table 4. Soil porosity of sandy clay loam for three seasons at Taman Bogo Research Station, East Lampung

Perlakuan	Ruang Pori Total (RPT)			Pori Drainase Cepat (PDC)			Pori Air Tersedia (PAT)		
	MT I	MT II	MT III	MT I	MT II	MT III	MT I	MT II	MT III
	%vol								
Kontrol	51,65 b	51,88 a	53,80 ab	25,68 a	23,65 a	20,33 b	8,30 b	7,65 b	9,73 b
Biochar t ha ⁻¹	54,30 a	53,95 a	53,38 ab	25,25 a	27,73 a	24,75 ab	9,75 ab	13,37 a	11,38 a
Kapur 6 t ha ⁻¹	52,58 ab	52,48 a	52,05 ab	24,58 a	26,90 a	23,78 ab	7,97 b	7,40 b	9,48 b
Abu setara biochar 15 t ha ⁻¹	51,00 b	50,43 a	50,33 b	21,43 a	26,90 a	22,65 ab	8,30 b	10,85 ab	10,02 ab
Biochar 7,5 t ha ⁻¹ +kapur 3 t ha ⁻¹	53,23 ab	52,93 a	54,60 a	22,63 a	26,38 a	25,73 a	10,43 a	9,00 ab	10,22 ab
Biochar 15 t ha ⁻¹ dicuci	53,23 ab	53,85 a	54,33 a	22,33 a	27,43 a	23,23 ab	10,20 a	8,75 ab	11,35 a

Angka pada kolom yang sama yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf nyata 95%

BC= Biochar: MT= Musim Tanam



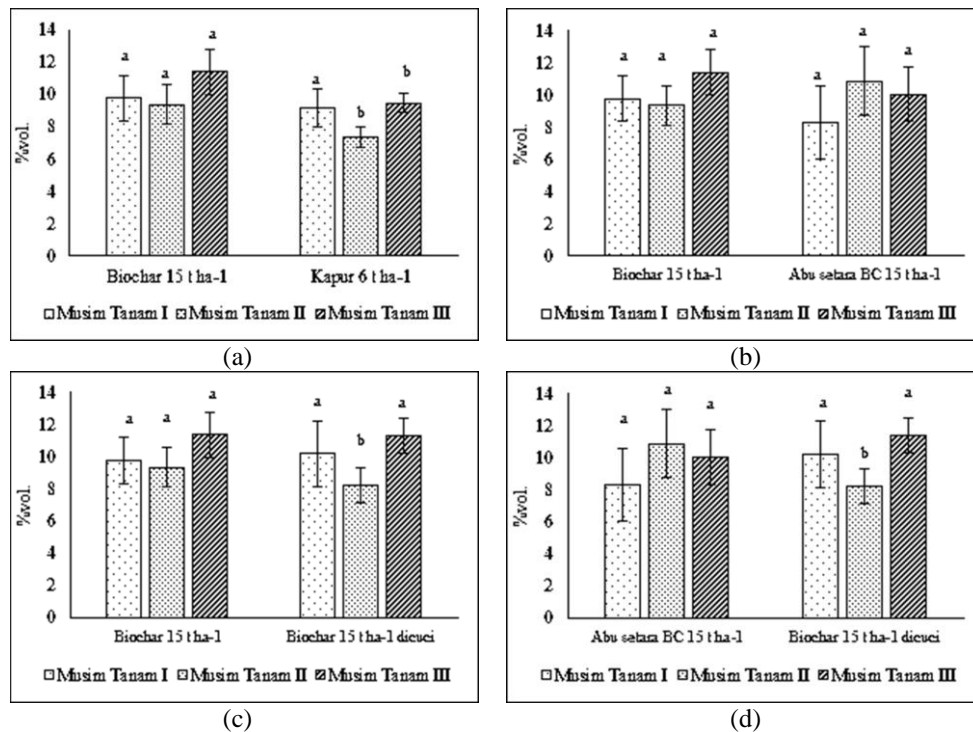
Gambar 1. Peningkatan ruang pori total dibandingkan kontrol selama tiga musim tanam pada tanah bertekstur lempung liat berpasir di KP Taman Bogo, Lampung Timur

Figure 1. Increasing of total porosity of sandy clay loam compared to control for three seasons at Taman Bogo Research Station, East Lampung

penelitian Obia *et al.* (2018), perbaikan porositas tanah yang diberi biochar mampu mendorong perkembangan akar tanaman menjadi lebih baik. Pada Gambar 1 dapat dilihat dengan jelas bahwa dibandingkan kontrol (tanpa amelioran) terjadi peningkatan porositas total pada tanah yang diberi biochar (2,0-7,6 %) selama tiga musim tanam. Porositas pada aplikasi kapur hanya meningkat sedikit Porositas pada aplikasi kapur hanya meningkat sedikit (1,8-3,1 %) dibandingkan dengan kontrol, sedangkan pemberian abu justru menghasilkan porositas total yang lebih rendah dari kontrol yaitu sekitar 0,9-2,8 %. Angka ini tidak tergolong besar, namun jika berlangsung secara kontinu akan terus menurunkan porositas tanah.

Pemberian amelioran biochar tidak berpengaruh secara signifikan terhadap pori drainase, hanya setelah musim tanam ketiga terlihat peningkatan dibandingkan control, namun pemberian biochar yang dikombinasikan dengan kapur secara signifikan nyata lebih tinggi. Hal tersebut sulit dijelaskan seperti apa mekanisme yang terjadi akibat aplikasi kombinasi amelioran tersebut. Berbeda dengan pori drainase, pemberian biochar meningkatkan pori air

tersedia (PAT) secara signifikan dalam berbagai bentuk termasuk yang sudah dicuci (Tabel 4). Peningkatan kemampuan memegang air meningkat pada musim ketiga pada plot yang diberi amelioran biochar kecuali kapur. Kapur tidak mengandung bahan organik sama sekali sehingga tidak mampu berkontribusi terhadap kemampuan tanah meretensi air (Tabel 2). Berbagai penelitian telah menginformasikan bahwa pada tanah yang didominasi pasir, pengaruh pemberian biochar lebih nyata terhadap kemampuan memegang air dibandingkan terhadap BD tanah (Pereira *et al.* 2012; Obia *et al.* 2016; Obia *et al.* 2018). Biochar mempunyai porositas yang tinggi dan mempunyai luas permukaan spesifik yang tinggi pula sehingga kapasitasnya dalam menyimpan air pun menjadi tinggi (Busscher *et al.* 2010; Abel *et al.* 2013; Blanco-Canqui *et al.* 2017). Tabel 4 juga menginformasikan bahwa penggunaan kapur untuk ameliorasi di lahan kering masam bertekstur kasar hanya mampu meningkatkan pH, tidak mempengaruhi sifat fisik tanah. Pemberian kapur masih perlu dikombinasikan dengan pemberian amelioran lainnya.



Gambar 2. Pori air tersedia selama tiga musim tanam pada tanah bertekstur lempung liat berpasir. Data ditampilkan a) biochar dibandingkan dengan kapur, b) biochar dibandingkan dengan abu c) biochar dibandingkan dengan biochar dicuci, dan d) abu dibandingkan dengan biochar dicuci. Perbedaan yang signifikan secara statistik pada level 0,05. Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan antara perlakuan biochar dan kapur, biochar dan abu, biochar dan biochar dicuci, serta abu dan biochar dicuci (huruf a dan b)

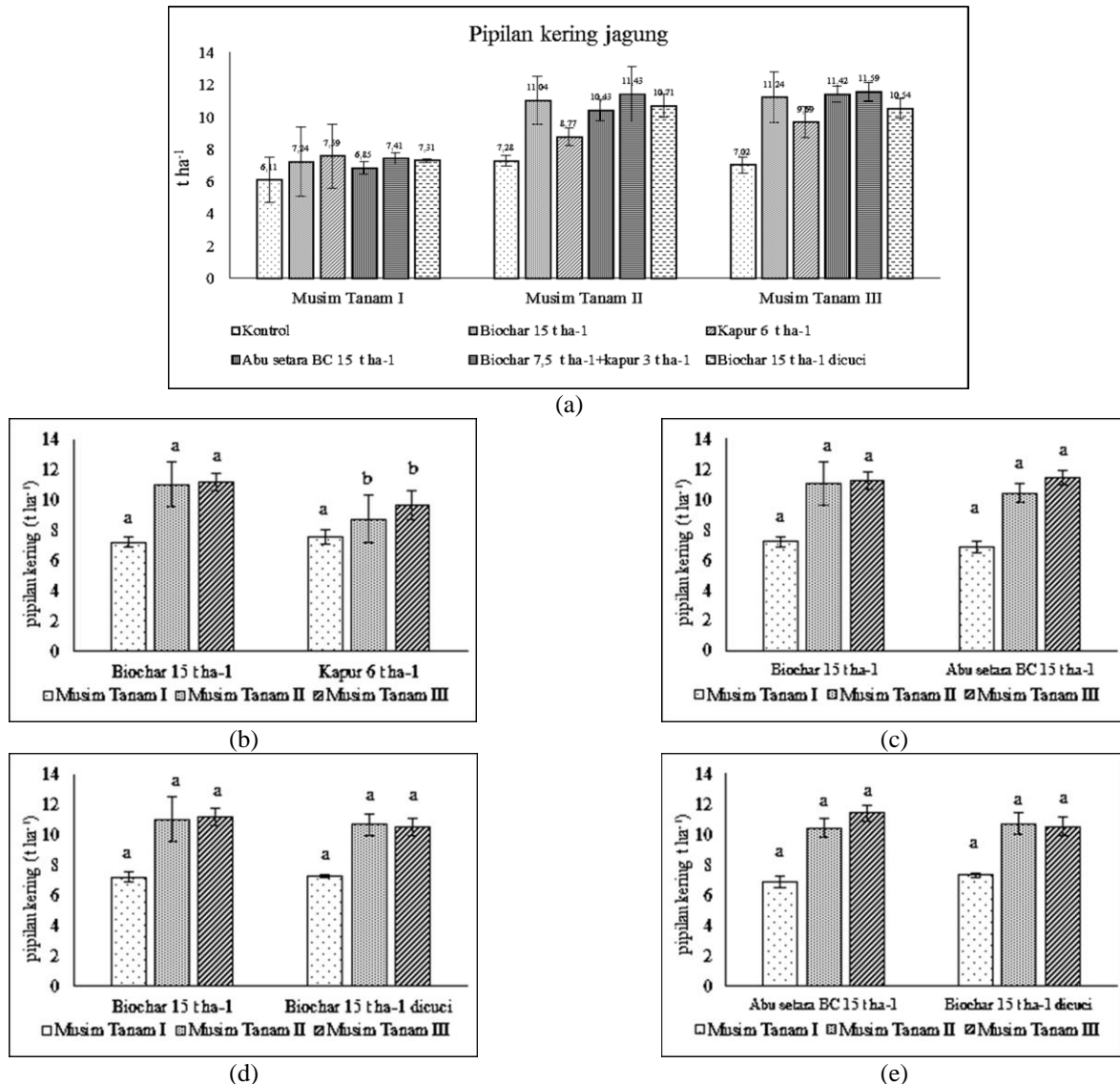
Figure 2. Available water pores of sandy clay loam for three seasons. Data is shown in a) biochar compared to lime, b) biochar compared to ash c) biochar compared to washed biochar, and d) ash compared to washed biochar, in addition statistical differences. Statistically significant differences are at the 0.05 level. Different letters indicate a difference between the treatments biochar and lime, biochar and ash, biochar and washed biochar, and ash and washed biochar (letters a and b)

Perbandingan PAT pada masing-masing amelioran dianalisis secara terpisah untuk melihat pengaruh secara parsial selama tiga musim tanam (Gambar 2). Hasil analisis menunjukkan bahwa aplikasi biochar 15 t ha⁻¹ dibandingkan kapur 6 t ha⁻¹, menghasilkan PAT yang berbeda nyata khususnya pada musim tanam kedua dan ketiga. Hal ini dapat dipahami karena pemberian kapur tidak mempunyai kemampuan untuk meretensi air secara langsung. Apabila biochar diproses hingga menjadi abu pun masih menghasilkan PAT yang tidak berbeda nyata

dengan biochar 15 t ha⁻¹. Begitu juga bila biochar dicuci, masih mampu menghasilkan PAT yang tidak berbeda nyata dengan biochar 15 t ha⁻¹ dan abu setara biochar 15 t ha⁻¹, kecuali pada musim tanam kedua. Hal ini menunjukkan bahwa pilihan untuk meningkatkan PAT tanah adalah dengan pemberian biochar, abu setara biochar, dan biochar dicuci dengan dosis 15 t ha⁻¹.

Hasil Tanaman Jagung

Selama tiga musim tanam, pemberian amelioran



Gambar 3. Hasil pipilan kering jagung selama tiga musim tanam untuk semua perlakuan: kontrol, biochar, kapur, biochar yang dicuci dan abu. Data ditampilkan dalam a) untuk semua perlakuan tanpa hasil statistik b) biochar dibandingkan dengan kapur, c) biochar dibandingkan dengan abu d) biochar dibandingkan dengan biochar dicuci, dan e) abu dibandingkan dengan biochar dicuci. Perbedaan yang signifikan secara statistik pada level 0,05. Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan antara perlakuan biochar dan kapur, biochar dan abu, dan biochar dan biochar dicuci abu dan biochar dicuci (huruf a dan b)

Figure 3. Maize dry grain yield for three seasons for all treatment: control, biochar, lime, washed biochar and ash. Data is shown in a) for all treatment without statistical results b) biochar compared to lime, c) biochar compared to ash d) biochar compared to washed biochar, and e) ash compared to washed biochar, in addition statistical differences. Statistically significant differences are at the 0.05 level. Different letters indicate a difference between the treatments biochar and lime, biochar and ash, biochar and washed biochar, ash and washed biochar (letters a and b)

(biochar, kapur, dan abu) meningkatkan hasil pipilan jagung. Pada musim tanam pertama tidak ada perbedaan pengaruh antar amelioran. Pada musim tanam kedua pemberian biochar baik dikombinasikan dengan kapur maupun tidak, memberikan hasil yang tertinggi. Pada musim tanam kedua pengaruh kapur belum mampu mendongkrak hasil jagung, terlihat dengan berat pipilan kering yang dihasilkan tidak berbeda nyata dengan kontrol (tanpa amelioran), sedangkan keempat amelioran lainnya dengan bahan dasar biochar memberikan hasil yang nyata lebih tinggi dibandingkan kontrol, mencapai 10,43-11,43 t ha⁻¹ pipilan kering (Gambar 3a). Produktivitas jagung dari perlakuan tersebut masih tetap dapat dipertahankan sampai dengan musim ketiga, bahkan peningkatan produktivitas jagung dari pemberian kapur pun mulai mendekati hasil yang diperoleh dari amelioran lainnya dan nyata lebih tinggi dibandingkan kontrol. Pada umumnya aplikasi biochar berpengaruh positif terhadap produktivitas tanaman pada tanah lempung liat berpasir yang disebabkan terjadinya perbaikan sifat fisik tanah. Peningkatan hasil jagung yang terjadi masih bervariasi mulai 64% (Blanco-Canqui 2017), 68% (Saletnik *et al.* 2019), dan 300% (Cornelissen *et al.* 2018).

Gambar 3 juga memperlihatkan bahwa pengaruh biochar terhadap hasil lebih nyata dibandingkan kapur 6 t ha⁻¹ terutama pada musim tanam kedua dan ketiga. Pemberian biochar dalam bentuk biochar saja sebesar 15 t ha⁻¹ menghasilkan pipilan kering jagung yang tidak berbeda dengan pemberian abu setara biochar 15 t ha⁻¹, biochar 15 t ha⁻¹ yang dicuci (Gambar 3d). Hasil pipilan jagung kering bisa ditingkatkan dengan pemberian biochar 15 t ha⁻¹, biochar yang dijadikan abu maupun biochar yang dicuci. Keunggulan abu setara biochar 15 t ha⁻¹ mengandung banyak unsur hara (P, K, Ca, dan Mg), sedangkan biochar yang dicuci justru sebaliknya miskin

unsur hara karena sebagian besar sudah tercuci (Tabel 2). Biochar mempunyai KTK 29,74 cmol₍₊₎ kg⁻¹ lebih tinggi dibandingkan abu (13,14 cmol₍₊₎ kg⁻¹) dan biochar yang dicuci (19,74 cmol₍₊₎ kg⁻¹). Rendahnya kandungan C-total (7,94%) dari abu setara biochar 15 t ha⁻¹ merupakan kelemahan karena fungsinya sebagai amelioran menjadi tidak optimal, sedangkan biochar meskipun sudah dicuci masih mengandung C-total sebesar 20,67% (Tabel 2). Pemberian biochar dapat lebih menguntungkan bagi pertumbuhan dan hasil tanaman jagung pada lahan kering masam dengan tekstur tanah berpasir dibandingkan kapur, abu dan biochar dicuci karena fungsi biochar sebagai amelioran masih tetap terjaga.

Hasil biomassa kering pada Tabel 5, terlihat bahwa pemberian biochar 15 t ha⁻¹ dan abu setara biochar 15 t ha⁻¹ selama tiga musim tanam secara konsisten menghasilkan biomassa kering tertinggi yaitu masing-masing berkisar 5,30-9,36 t ha⁻¹ dan 6,24-10,92 t ha⁻¹. Jika dibandingkan kontrol, peningkatan biomassa kering mencapai 13,9-38,9% dan 12,8-62,0% masing-masing untuk aplikasi biochar 15 t ha⁻¹ dan abu setara biochar 15 t ha⁻¹. Aplikasi biochar dan abu memberikan efek residu dimana hasil biomassa kering pada musim tanam kedua dan ketiga semakin meningkat.

Aplikasi biochar 15 t ha⁻¹ dan abu setara biochar 15 t ha⁻¹ mampu meningkatkan produktivitas jagung untuk lahan kering masam dengan tekstur berpasir dengan efek residu hingga tiga musim tanam. Baik hasil pipilan kering maupun biomassa kering yang dihasilkan lebih tinggi daripada penggunaan kapur 6 t ha⁻¹. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Hale *et al.* (2020) yang mendapatkan peningkatan hasil jagung yang konsisten akibat pemberian biochar kulit buah kakao 15 t ha⁻¹ selama tujuh musim tanam di tanah Typic Kanhapludults.

Tabel 5. Hasil biomas jagung selama tiga musim tanam pada tanah bertekstur lempung liat berpasir di KP Taman Bogo, Lampung Timur

Table 5. Maize biomass of sandy clay loam compared to control for three seasons at Taman Bogo Research Station, East Lampung

Perlakuan	Musim tanam I		Musim tanam II		Musim tanam III	
	Biomassa kering t ha ⁻¹	% ¹	Biomassa kering t ha ⁻¹	% ¹	Biomassa kering t ha ⁻¹	% ¹
Kontrol	5,53 b		6,67 b		6,74 c	
Biochar 15 t ha ⁻¹	6,30 ab	13,9	9,19 a	37,8	9,36 a	38,9
Kapur 6 t ha ⁻¹	7,38 a	33,5	6,34 b	-4,9	8,75 b	29,8
Abu setara biochar 15 t ha ⁻¹	6,24 ab	12,8	8,80 ab	31,9	10,92 a	62,0
Biochar 7,5 t ha ⁻¹ +kapur 3 t ha ⁻¹	5,34 b	-3,4	9,19 a	37,8	9,97 ab	47,9
Biochar 15 t ha ⁻¹ dicuci	6,49 ab	17,4	9,09 a	36,3	8,51 bc	26,3

Angka pada kolom yang sama yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf nyata 95 %
¹Peningkatan dibandingkan dengan kontrol

Kesimpulan

Bulk density tanah lempung liat berpasir yang diberi biochar 15 t ha⁻¹ baik dicuci maupun tidak, nyata lebih rendah (1,08-1,09 g cm⁻³) dibandingkan kontrol dan terjadi penurunan sekitar 4,5-8,1 % selama tiga musim tanam. Pori air tersedia meningkat secara signifikan dengan pemberian biochar dalam berbagai bentuk (biochar, abu, maupun biochar yang dicuci). Peningkatan kemampuan memegang air meningkat terjadi pada musim ketiga pada tanah berpasir yang diberi amelioran biochar. Selama tiga musim tanam, tanah yang diberi abu setara biochar 15 t ha⁻¹ mempunyai porositas tanah (ruang pori total) yang relatif konsisten paling rendah dan BD tanah lebih tinggi sehingga tidak menguntungkan bagi perbaikan sifat tanah dengan tekstur berpasir.

Aplikasi biochar 15 t ha⁻¹ dan abu setara biochar 15 t ha⁻¹ mampu meningkatkan produktivitas jagung untuk lahan kering masam dengan tekstur tanah lempung liat berpasir dengan efek residu hingga tiga musim tanam. Baik hasil pipilan kering maupun biomassa kering yang dihasilkan lebih tinggi dari pada penggunaan kapur 6 t ha⁻¹. Pemberian biochar lebih menguntungkan bagi pertumbuhan dan hasil tanaman jagung pada lahan kering masam dengan tekstur lempung liat berpasir dibandingkan kapur, abu, dan biochar dicuci karena fungsi amelioran dari biochar masih tetap terjaga.

Daftar Pustaka

- Abel S, Peters A, Trinks S, Schonsky H, Facklam M, Wessolek G. 2013. Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. *Geoderma*. 202-203:183-191.
- Basso AS, Miguez FE, Lairde DA, Horton R, Westgate M. 2013. Assessing potential of biochar for increasing water holding capacity of sandy soils. *Glob. Chang. Biol. Bioenergy*. 5:132-143.
- Blanco-Canqui H. 2017. Biochar and soil physical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 81:687-711.
- Busscher W, Novak J, Evans D, Watts D, Niandou M, Ahmedna M. 2010. Influence of pecan biochar on physical properties of a Norfolk Loamy Sand. *Soil Science*. 175(1):10-14.
- Cornelissen G, Jubaedah, Nur5ida NL, Hale SE, Martinsen V, Salvani L, Mulder J. 2018. Fading positive effect of biochar on crop yield and acidity during five growth seasons in an Indonesian Ultisol. *Science of the Total Environment*. 634:561-568. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.380>.
- Crane-Droesch A, Abiven S, Jeffrey S, Torn MS. 2013. Heterogeneous global crop yield response to biochar: a meta-regression analysis. *Environ Res Lett*. 8(4).
- de Melo Carval MT, de Holanda Nunes Maia A, Madari BE, Bastiaans L, van Oort PAJ, Heinemann AB, Soler da Silva MA, Petter FA, Marimon BHJr, Meinke H. 2014. Biochar increase plant available water in a sandy loam soil under aerobic rice crop system. *Solid Earth*. 5:939-952.
- Fletcher AJ, Smith MA, Heinemeyer A, Lord R, Ennis CJ, Hodgson EM, Farrar K. 2014. Production factors controlling the physical characteristics of biochar derived from phytoremediation willow for agricultural applications. *Bioenergy Res*. 7:371-380.
- Gundale M, Deluca T. 2006. Temperature and source material influence ecological attributes of ponderosa pine and douglas-fir charcoal. *Forest Ecology and Management*. 231(1-3):86-93.
- Guo Y, Yang S, Yu K, Zhao J, Wang Z, Xu H. 2002. The preparation and mechanism studies of rice husk based porous carbon. *Materials Chemistry and Physics*. 74(3):320-323.
- Hageman N, Subdiaga E, Orsetti S, de la Rosa JM, Knicker H, Schmidt HP, Kappler A, Behrens S. 2018. Effect of biochar amendment on compost organic matter composition following aerobic composting of manure. *Science of the Total Environment*. 613-614:20-29. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.161>.
- 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>.
- Hardie M, Clothier B, Bound S, Oliver G, Close D. 2014. Does biochar influence soil physical properties and soil water availability?. *Plant Soil*. 376:347-361. DOI: 10.1007/s11104-013-1980-x.
- Herarth HMSK, Camps-Arbestain M, Hedley M. 2013. Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: an Alfisol and an Andisol. *Geoderma*. 209:188-187.
- 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, Abalos D, Prodana M, Batos AC, van Groenigen JW, B.A. 2017. Biochar boosts tropical but not temperate crop yield. *Environ. Res. Lett.* 12:053001.

- Joshep SD, Camps-Arbestein KM, Lin Y, Munroe P, Chia CH, Hook J, van Zwieten L, S. Kimber, A. Cowie, B.P. Singh, J. Lehmann, N. Foidl, R.J. Smernikl, J.E. Amonette. 2010. An investigation into the reactions of biochar in soil. *Aust. J. Soil Res.* 48:501-515.
- Kameyama K, Miyamoto T, Iwata Y, Shiono T. 2016. Effects of biochar produced from sugarcane bagasse at different pyrolysis temperatures on water retention of a Calcaric Dark Red soil. *Soil Sci.* 181:20-28.
- Kätterera T, Roobroeckb D, Andrénc O, Kimutaib G, Karlund E, Kirchmann H, Nyberge G, Vanlauweb B, Nowinaf K. 2019. Biochar addition persistently increased soil fertility and yields in maize soybean rotations over 10 years in sub-humid regions of Kenya. *Field Crops Research.* 235:18-26.
- Kinney, Masiello TC, Dugan B, Hockaday W, Dean M, Zygourakis K, Barnes R. 2012. Hydrologis properties of biochars produced and heavy metal mobilization. *Journal of Environmental Quality.* 41:34-43.
- Laird DA, Fleming P, Davis DD, Horton R, Wang BQ, Karlen DL. 2010. Impact of biochar amandement on quality of typical midwestern agricultural soil. *Geoderma.* 158(34):443-449.
- Liu, JH, Schulz JH, Brandl S, Miehtke H, Huwe B, Glaser B. 2012. Short-term effect of biochar and compost on soil fertility and water status of a dystic cambisol in NE Germany under field conditions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science.* 172(5):698-707.
- Lu S, Sun F, Zong Y. 2014. Effect of rice husk biochar and coal fly ash on some physical properties of expansive clayey soil (vertisol). *Catena.* 114: 37-44.
- Lychuck TE, Izaurralde RC, Hill RL, McGill WB, Williams JR. 2014. Biochar as a global change adaptation: predicting biochar impact on crop productivity and soil quality for a tropical soil with the environmental policy integrated climate (EPIC) model. *Mitig.Adapt.Strateg.Glob. Chang.* <http://dx.doi.org/10.1007/s1027-014-9554-7>.
- Mukherjee A, Lal R. 2013. Biochar impact on soil phtsical properties and greenhouse gas emissions. *Agonomy.* 313-339. Doi:10.3390/agronomy3020313.
- Novak JM, Lima I, Xing B, Gaskin JW, Steiner C, Das K, Ahmedna M, Rehrah D, Watts DW, Bussher WJ. 2009. Charachterization of designer biochar produced at different temperature and their effect on a loamy sand. *Annals of Environmental Science.* 3(1):195-206.
- Nurida NL, Dariah A, Rachman A. 2009. Kualitas limbah pertanian sebagai bahan baku pembenah berupa biochar untuk rehabilitasi lahan. hlm. 209-215. *Dalam Prosiding Seminar Nasional dan Dialog Sumberdaya Lahan Pertanian.*
- Nurida NL. 2014. Potensi pemanfaatan biochar untuk rehabilitasi lahan kering di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan. Edisi khusus Karakteristik dan Variasi Sumberdaya Lahan Pertanian.* hlm. 57-68.
- Nurida LN, Jubaedah, Dariah A. 2019. Produktivitas padi gogo pada lahan kering masam akibat aplikasi pembenah tanah biochar. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan.* 3(2):67-74.
- Obia A, Mulder J, Martinsen V, Cornelissen G, Borresen T. 2016. In situ effects of biochar on aggregation, water retention and porosity in light-textured tropical soil. *Soil Tillage Res.* 155:35-44.
- Obia A, Mulder J, Hale S, Nurida NL, Cornelissen G. 2018. The potensial of biochar in improving drainage, aeration and maize yields in heavy clay soils. *PLoS One.* 1-15. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0196794>.
- Pereira R, Heinemann A, Madari B, Carvalho M, Kliemann H, Santos A. 2012. Transpiration response of upland rice to water deficit changed by different levels of eucalyptus biochar. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira.* 47(5):716-721.
- Peake LR, Reid BJ, Tang X. 2014. Quantifying the influence of biochar on the physical and hydrological properties of dissimilar soils. *Geoderma.* 235-236:182-190.
- Saletnik B, Grzegorz Z, Marcin B, Maria C, Czeslaw P. 2018. Biochar and biomass ash as a soil ameliorant: the effect on selected soil properties and yield of Giant Miscanthus (*Miscanthus x giganteus*). *Energies.* 11(10). <https://doi.org/10.3390/en11102535>.
- Shaaban A, Sian-Meng Se, Npna Merry M Mitan, Dimin MF. 2013. Characterization of biochar derived from rubber wood sawdust through slow pyrolysis on surface porosities and functional groups. *Procedia Engineering.* 68:365-371.
- Sohi SP, Krull E, Lopez-Capel E, Bol R, Donald LS. 2010. Chapter 2-a review of biochar and its use and function in soil. *Advances in Agronomy. Academic, New York.* p. 47-82.
- Spokas K A, Cantell KB, Novak JM, Archer DW, Ippolito JA, Collin HP, Boateng AA, Lima IM, Lamb MC, Mc Aloon AJ, Lentz RD, Nichols KA. 2012. Biochar: A synthesis of its agronomic impact beyond carbon sequestration. *J. Environ. Qual.* 41(4):973-989.
- Sukartono, Utomo WH. 2012. Peranan biochar sebagai pembenah tanah pada pertanaman jagung di tanah lempung berpasir (sandy loam) semiarid tropis Lombok Utara. *Jurnal Penelitian Ilmu-Ilmu Kelaman: Buana Sains. Tribhuana Press.* 12(1):91-98.
- Sun F, Li S. 2014. Biochar improve aggregate stability, water retention, and pore-space properties of clayey soil. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 177:26-33.
- Sutono, Nurida NL. 2012. Kemampuan biochar memegang air pada tanah bertekstur pasir. *Jurnal Penelitian Ilmu-Ilmu Kelaman: Buana Sains. Tribhuana Press.* 12(1):45-52.

- Suwardji, Sukartono, Utomo WH. 2012. Kemantapan agregrat setelah aplikasi biochar di tanah lempung berpasir pada pertanaman jagung di lahan kering Kabupaten Lombok Utara. *Jurnal Penelitian Ilmu-Ilmu Kelaman: Buana Sains*. Tribhuana Press. 12(1):61-68.
- Van Zwieten, Singh LBP, Kimber SWL, Murphy DV, Macdonald LM, Rust J, Moris S. 2014. Incubation study investigating the mechanisms that impact N₂O flux soil following biochar application. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 191:53-63.
- Verheijen FGA, Jeffery S, Bastos AC, van der Velde M, Diafas I. 2010. Biochar application to soil – a critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions. EUR 24099 EN. Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg. 166 pp.
- Yu Ok-You, Brian R, Sam S. 2013. Impact of biochar on the water holding capacity of loamy sand soil. 4:4. <http://www.journal.ijeee.com/content/4/1/44>. (diunduh 24 Mei 2014).
- Pandit NR, Mulder J, Hale SE, Zimmerman AR, Pandit BH, Cornelissen G. 2018. 'Multi-year double cropping biochar field trials in Nepal: Finding the optimal biochar dose through agronomic trials and cost-benefit analysis', *Science of the Total Environment*. The Authors. 637-638:1333-1341. doi: 10.1016/j.scitotenv. 2018.05.107.