

Peningkatan Kualitas Tanah dengan Pembenh Tanah *Biochar* Limbah Pertanian

Improving Soil Quality by Using Agricultural-Waste Biochar as a Soil Conditioner

Neneng Laela Nurida, Ai Dariah, Achmad Rachman

Peneliti Badan Litbang Pertanian di Balai Penelitian Tanah, Jl. Tentara Pelajar 12a, Bogor 16114, Jawa Barat

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 29 April 2013

Disetujui: 12 Juni 2013

Kata kunci:

Biochar

Kompos

Kualitas tanah

Pembenh tanah

Rehabilitasi

Keywords:

Biochar

Compost

Soil quality

Soil conditioner

Rehabilitation

Abstrak. Optimalisasi penggunaan lahan kering yang telah terdegradasi perlu diawali dengan upaya rehabilitasi yang menggunakan pembenh tanah, antara lain *biochar* limbah pertanian. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan formula kombinasi pembenh tanah *biochar* dengan kompos yang mampu memperbaiki kualitas tanah masam dan tanah non masam dan meningkatkan pertumbuhan tanaman. Penelitian dilaksanakan di rumah kaca Balai Penelitian Tanah pada Tahun 2008 dengan menggunakan tanah mineral masam (pH 4,1) dari Kebun Percobaan Tamanbogo, Lampung, dan tanah mineral non masam (pH 7,2) dari Pangandaran, Jawa Barat. Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan tiga ulangan. Dua belas perlakuan yang diuji merupakan kombinasi *biochar* limbah pertanian (tempurung kelapa sawit, kulit buah kakao, dan sekam padi), masing-masing dengan komposisi sebanyak 25, 50, 75, dan 100% terhadap kompos. Takaran *biochar* pembenh tanah yang diuji adalah 5 t ha⁻¹, dengan tanaman indikator jagung. Parameter yang diamati adalah sifat fisik dan kimia tanah serta tinggi tanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa formula pembenh tanah *biochar* dapat memperbaiki sifat fisik tanah masam dan tanah non masam, baik dengan maupun tanpa dicampur dengan kompos. Pada tanah mineral masam, pemberian *biochar* dengan dan tanpa kompos, meningkatkan pH tanah secara nyata dari 4,1 menjadi 4,49-4,80 (masam), sedangkan pada tanah mineral non masam pemberian *biochar* dengan kompos menghasilkan pH dan kadar hara lebih tinggi. Pada tanah mineral non masam, kadar N tanah berkorelasi nyata dengan kadar asam fulvat ($r = 0,389; P \leq 0,05$), kadar K-tukar tanah berkorelasi nyata dengan kadar K ($r = 0,462; P \leq 0,01$) dan P-tersedia berkorelasi nyata dengan P formula ($r = 0,444; P \leq 0,01$). Respon pertumbuhan tanaman jagung sangat nyata terhadap formula pembenh tanah *biochar* ($\leq 50\%$) pada tanah mineral non masam. Penggunaan formula *biochar* dengan kompos dengan proporsi *biochar* 25-50% (berat kering) disarankan untuk tanah non masam, sedangkan pada tanah masam dapat diaplikasikan formula *biochar* dengan atau tanpa kompos.

Abstract. Optimized use of degraded upland should be started by rehabilitation using soil conditioners such as agricultural-waste biochar. The objectives of this study were to formulate the combination of *biochar* with compost that could improve quality of acid and non acid mineral soils and increase plant growth. This study was conducted in 2008 in the greenhouse using acid mineral soil (pH 4.1) from Tamanbogo, Lampung, and non acid mineral soil (pH 7.2) from Pangandaran, West Java. The experiment used the randomized complete design (RCD) with three replications. The treatments were 12 formulae of soil conditioner containing agricultural biochar (palm oil shell, cocoa shell, and rice husk) and compost, each with biochar compositions of 25, 50, 75, and 100%. The dosage of these soil conditioners was 5 t ha⁻¹. The crop planted was maize, meanwhile parameters measured were soil chemical and physical properties, and plant growth. The research results showed that the *biochar* improved soil physical properties of acid and non acid soils, with or without compost. For the acid soil, the *biochar* application without compost increased soil pH significantly from 4.1 to 4.49-4.80, meanwhile for non acid soil, soil pH and nutrient contents increased with the addition of *biochar* and compost mixtures. In the non acid soil, soil total N, exchangeable K and available P contents correlated with the biochar's fulvic acid, K and P contents, with the $r = 0.389$ ($P \leq 0.05$); $r = 0.462$ ($P \leq 0.01$); and $r = 0.444$ ($P \leq 0.01$), respectively. The maize growth was influenced significantly by soil conditioner containing $\leq 50\%$ *biochar* in non acid mineral soil. The additional of the 25-50% *biochar* is proposed for non acid mineral soil, whereas for acid mineral soil, the *biochar* can be applied with or without compost.

Pendahuluan

Peranan lahan kering sebagai penyedia pangan semakin besar sejalan dengan semakin sempitnya lahan sawah produktif akibat tingginya laju konversi lahan sawah sekitar 132 ribu ha th⁻¹ (Agus dan Irawan 2006). Kualitas lahan kering di Indonesia relatif rendah dimana salah satu penyebabnya berkaitan dengan karakteristik

lahan di daerah tropika basah yaitu erosi dan pemiskinan hara (Kurnia *et al.* 2005). Penurunan kualitas lahan dicirikan dengan kandungan hara P, K, dan bahan organik rendah, Kapasitas Tukar Kation (KTK), dan Kejenuhan Basa (KB) rendah serta kadar Al tinggi serta struktur tanah tidak stabil.

Optimalisasi penggunaan lahan kering terdegradasi sebagai penyedia pangan perlu diawali dengan upaya rehabilitasi lahan agar kualitas tanah meningkat. Kualitas tanah (*soil quality*) yang dimaksud adalah kapasitas tanah

* Corresponding author: lelanurida@yahoo.com

untuk berfungsi dalam suatu ekosistem alami atau ekosistem yang dikelola, untuk menunjang produktivitas tanaman dan mendorong kualitas air dan udara serta mendukung kehidupan manusia dan lingkungannya (Karlen *et al.* 1997). Pengaruh penggunaan bahan pembenah tanah alami seperti lateks, pupuk kandang/kompos dan biomas *Flemingia congesta* dan sisa tanaman bersifat sementara (*temporary*). Selain itu, penggunaan bahan organik berupa pupuk kandang maupun sisa tanaman membutuhkan dosis yang cukup tinggi yaitu sekitar 15-20 t ha⁻¹ pupuk kandang (Kurnia 1996) dan 20-25 t ha⁻¹ biomas *Flemingia congesta* (Nurida 2006). Implikasinya, dibutuhkan jumlah yang cukup besar dan seringkali sulit dalam pengadaannya. Untuk itu, diperlukan bahan pembenah tanah yang sulit didekomposisi, mampu bertahan lama di dalam tanah atau mempunyai efek yang relatif lama sehingga tidak perlu diberikan setiap tahun.

Salah satu bahan yang memenuhi sifat tersebut adalah *biochar*, yaitu padatan kaya kandungan karbon yang merupakan hasil konversi dari biomas melalui proses pirolisis. Bahan-bahan yang sulit didekomposisi berupa limbah pertanian mudah diperoleh dan potensinya cukup besar untuk dikonversi menjadi pembenah tanah, namun dalam penerapannya, diperlukan proses antara, yaitu pembakaran tidak sempurna (*pyrolysis*) sehingga diperoleh arang (*biochar*) untuk diaplikasikan ke dalam tanah.

Di Indonesia potensi penggunaan *charcoal* atau *biochar* cukup besar, mengingat bahan baku seperti residu kayu, tempurung kelapa, sekam padi, kulit buah kakao cukup tersedia. Proses penggilingan gabah dapat menghasilkan 16,3-28% sekam (Thahir *et al.* 2008). Pada tahun 2009 dihasilkan sekitar 6,64-11,41 juta ton sekam padi. Potensi tempurung kelapa pun sangat besar mengingat luas areal tanaman kelapa mencapai 3,7 juta hektar dengan produksi setara kopra sebesar 3 juta ton (Ditjen Bina Produksi 2001), dimana proporsi tempurung dari satu buah kelapa sekitar 15-19%. Luas areal tanaman kakao sekitar 1,09 juta ha dengan produksi kulit buah kering sekitar 830.000 t th⁻¹ (Ditjen Bina Produksi 2007). Selama ini, limbah pertanian tersebut belum dimanfaatkan secara optimal, hanya terbatas digunakan sebagai sumber energi (sekam dan tempurung kelapa), sementara kulit buah kakao belum dimanfaatkan. Bila dikonversi menjadi *biochar*, maka limbah pertanian tersebut dapat digunakan untuk meningkatkan produktivitas lahan, bertahan lama dalam tanah serta berkontribusi terhadap pengurangan emisi karena tidak cepat hilang melalui dekomposisi.

Penambahan *charcoal/biochar* pada tanah-tanah pertanian berfungsi untuk: (1) menambah ketersediaan hara, (2) menambah retensi hara, dan (3) menambah retensi air (Glaser *et al.* 2002), 4) menciptakan habitat yang baik untuk mikroorganisme simbiotik (Ogawa 1994), 5) meningkatkan produksi tanaman pangan (Jones *et al.*

2012; Haefele *et al.* 2011), dan 6) mengurangi laju emisi CO₂, berkontribusi terhadap cadangan karbon ($\pm 52,8\%$). Artinya *biochar* mampu menyimpan karbon dalam waktu yang cukup lama dan dalam jumlah yang cukup besar (Ogawa *et al.* 2006). Pemberian *biochar* berpengaruh positif terhadap sifat tanah dan produktivitas tanaman (Jones *et al.* 2012; Blackwell *et al.* 2010) khususnya pada tanah masam (Jeffery *et al.* 2001; Atkinson *et al.* 2010; Spokas *et al.* 2012), namun tidak berpengaruh nyata pada tanah dengan pH netral di Mid-West USA (Gaskin *et al.* 2010). Penelitian bertujuan untuk mendapatkan formula pembenah tanah arang (*biochar*) limbah pertanian yang mampu memperbaiki kualitas tanah mineral masam dan non masam, sehingga dalam jangka panjang akan mampu meningkatkan produksi tanaman dan pendapatan petani.

Bahan dan Metode

Penelitian dilaksanakan di rumah kaca Balai Penelitian Tanah pada tahun 2008 dengan menggunakan bahan tanah masam dari KP Tamanbogo, Lampung dan tanah non masam dari Pangandaran, Jawa Barat. Hasil analisis awal tanah dari KP Tamanbogo memperlihatkan bahwa tanah mempunyai pH H₂O 4,1, C-organik 0,09%, N-total 0,07%, P₂O₅ ekstrak 25% HCl 7 mg 100g⁻¹, K₂O ekstrak 25% HCl 6,0 mg 100g⁻¹, P₂O₅ Bray-1 3,2 ppm dan KTK 4,98 (cmol₍₊₎ kg⁻¹), sedangkan tanah Pangandaran mempunyai pH H₂O 7,2, C-organik 0,72%, N-total 0,06%, P₂O₅ ekstrak 25% HCl 59 mg 100g⁻¹, K₂O ekstrak 25% HCl 28 mg 100g⁻¹, P₂O₅ Olsen 11 ppm dan KTK 5,09 (cmol₍₊₎ kg⁻¹). Sebelumnya bahan tanah dikeringudarkan, ditumbuk, dan diayak dengan saringan 2 mm, lalu dimasukkan ke dalam pot berukuran 15 kg.

Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan tiga ulangan, perlakuan yang diuji adalah:

1. 100% *biochar* sekam padi (SP100).
2. 75% *biochar* sekam padi dengan 25% kompos (SP75).
3. 50% *biochar* sekam padi dengan 50% kompos (SP50).
4. 25% *biochar* sekam padi dengan 75% kompos (SP25).
5. 100% *biochar* kulit buah kakao (KK100).
6. 75% *biochar* kulit buah kakao dengan 25% kompos (KK75).
7. 50% *biochar* kulit buah kakao dengan 50% kompos (KK50).
8. 25% *biochar* kulit buah kakao dengan 75% kompos (KK25).
9. 100% *biochar* tempurung kelapa sawit (KS100).
10. 75% *biochar* tempurung sawit dengan 25% kompos (KS75).
11. 50% *biochar* tempurung sawit dengan 50% kompos (KS50).
12. 25% *biochar* tempurung sawit dengan 75% kompos (KS25).

Ketiga jenis *biochar* limbah pertanian (sekam padi, kulit buah kakao dan tempurung kelapa sawit) diproduksi dengan menggunakan alat pirolisis (tabung) yang dibangun secara sederhana dengan volume 30-40 L, temperatur 250-350°C (rata-rata 300°C). Pengujian lamanya pirolisis telah dilakukan dan diperoleh lamanya pirolisis untuk sekam padi dan kulit buah kakao adalah 3,5 jam, sedangkan untuk tempurung kelapa sawit hanya 1 jam. Persentase *biochar* yang dihasilkan (dibandingkan berat kering bahan mentah) adalah 30,4; 22,0; dan 53,5% masing-masing untuk sekam padi, kulit buah kakao, dan tempurung kelapa sawit.

Biochar sekam padi, kulit buah kakao dan tempurung kelapa sawit dicacah untuk mendapatkan ukuran yang lebih seragam, lalu dibuat formulasi sesuai perlakuan masing-masing (persentase berdasarkan berat kering bahan).

Parameter yang diamati meliputi 1) kualitas formula pembenah tanah *biochar* pH H₂O, C-organik (pengabuan), N-total (Kjeldahl), asam humat dan fulvat (gravimetrik), kadar P₂O₅ dan K₂O (HNO₃ dan HClO₄), dianalisis sebelum diaplikasikan, 2) sifat tanah: BD dan porositas (gravimetri), pF (*pressure plate*), pH H₂O, Kapasitas tukar kation atau KTK (NH₄OAc, pH 7), C-organik (Walkley dan Black), N-total (Kjeldahl), P-Bray dan P-Olsen serta K HCl 25%, yang dianalisis 10 minggu setelah aplikasi atau pada waktu jagung umur 8 minggu setelah tanam (MST), serta 3) tinggi tanaman umur 2-8 minggu setelah tanam (MST).

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik pembenah tanah *biochar*

Biochar limbah pertanian yang diformulasi merupakan hasil pengujian di laboratorium yaitu *biochar* sekam padi, *biochar* kulit buah kakao dan *biochar* tempurung kelapa

sawit, sedangkan kompos yang digunakan sebagai bahan formulasi adalah kompos pakan kambing. Pembenh tanah *biochar* dengan kompos diformulasikan berdasarkan persen berat kering. *Biochar* limbah pertanian sekam padi, kulit buah kakao dan tempurung sawit merupakan tiga jenis *biochar* terbaik berdasarkan pengujian di laboratorium dengan lama pembakaran 3,5 jam untuk kulit buah kakao dan sekam padi, dan 1 jam untuk tempurung sawit dengan temperatur 250-350°C (rata-rata 300°C) (Nurida *et al.* 2008). Sebelum diaplikasikan, pembenah tanah *biochar* dianalisis terlebih dahulu untuk mengetahui kualitas masing-masing formula pembenah tanah tersebut (Tabel 1). Ditinjau dari sifat kimia, formula pembenah tanah berbahan baku *biochar* limbah pertanian baik dengan maupun tanpa kombinasi dengan kompos pakan, memiliki kualitas yang cukup baik sebagai pembenah tanah.

Pada Tabel 1 diperlihatkan bahwa terdapat perbedaan kualitas formula pembenah tanah berbahan baku *biochar* sekam padi, kulit buah kakao dan tempurung sawit. Kualitas formula dengan bahan baku *biochar* sangat ditentukan oleh sumber bahan baku *biochar* yang digunakan dan proses produksinya (Brewer *et al.* 2010; Laird *et al.* 2010; Spokas *et al.* 2012; Rutherford *et al.* 2012). Selain itu, temperatur selama proses produksi *biochar* sangat menentukan kandungan C, pH, dan Kapasitas Tukar Kation (KTK) *biochar* yang dihasilkan (Chen *et al.* 2008; Van Zwieten *et al.* 2010). *Biochar* kulit buah kakao walaupun telah dikombinasikan dengan kompos mempunyai pH H₂O yang cukup tinggi (> 10) akibat kandungan kation basa yang relatif tinggi dibandingkan sekam padi dan tempurung kelapa sawit (Tabel 1). Jeffery *et al.* (2011) mendapatkan tingginya pH *biochar* legum disebabkan tingginya kandungan ion basa dibandingkan tanaman lain. Formula *biochar* kulit kakao perlu diformulasikan kembali bila akan digunakan sebagai

Tabel 1. Sifat kimia pembenah tanah *biochar* limbah pertanian dan kompos

Table 1. Chemical properties of agricultural-waste biochar and compost soil conditioner

No	Parameter	Satuan	SP100	SP75	SP50	SP25	KK100	KK75	KK50	KK25	KS100	KS75	KS50	KS25
1	pH H ₂ O		8,3	7,7	7,1	8,0	10,8	10,4	10,3	10,0	8,2	7,3	7,4	7,6
2	C-organik	%	3,72	32,82	32,07	31,05	4,21	30,84	31,47	32,02	18,78	45,00	41,83	38,85
3	N-total	%	0,50	1,47	1,70	1,73	0,83	1,22	1,68	1,89	1,61	1,54	1,83	1,92
4	Kadar air	%	2,5	8,69	10,24	11,64	11,5	19,03	18,74	17,68	5	8,75	10,07	11,29
5	C/N		7	25	22	21	12	29	21	20	5	34	26	24
6	Asam humat	%	-	0,33	0,45	0,53	tad	0,27	0,34	0,47	1,08	0,33	0,48	0,53
7	Asam fulvat	%	0,05	0,32	0,44	0,53	0,09	0,37	0,54	0,51	2,55	0,38	0,47	0,64
8	P ₂ O ₅	%	0,23	0,91	1,14	1,42	0,33	1,26	1,39	1,60	0,25	0,95	1,09	1,36
9	K ₂ O	%	0,06	0,90	1,14	1,22	11,25	9,04	6,92	4,31	0,04	0,85	1,10	1,16
10	CaO	%	0,21	1,50	1,89	2,17	2,3	2,48	2,56	2,80	0,67	1,32	1,82	2,23
11	MgO	%	0,13	0,57	0,68	0,84	0,86	1,73	1,55	1,51	0,31	0,65	0,70	0,83

Keterangan:

SP = sekam padi; KK = kulit buah kakao; KS = tempurung kelapa sawit

pembenah tanah, baik proporsinya maupun bahan campurannya, agar diperoleh formula yang mempunyai pH sekitar 4-8, mengingat pH yang terlalu tinggi akan mempengaruhi reaksi kimia di dalam tanah. Kadar C-organik pada formula SP100 dan KK100 relatif rendah sehingga untuk meningkatkan C-organik harus dicampur dengan kompos (Tabel 1), walaupun kadar C-total (hasil pengukuran metode Dumas Combustion) cukup tinggi yaitu 30,76% pada *biochar* sekam padi dan 33,04% pada *biochar* kulit buah kakao, sedangkan kadar C-total *biochar* tempurung sawit tergolong paling tinggi yaitu 49,18%.

Pada umumnya semakin rendah proporsi *biochar* limbah pertanian, kandungan hara makro, asam humat dan asam fulvat semakin rendah, artinya pengkayaan unsur hara dan asam organik pada formula tersebut sebagian besar bersumber dari kompos. Perbedaan terlihat pada formula KS dan KK dimana kadar asam organik (asam humat dan fulvat) pada formula KS dan K₂O pada formula KK kadarnya semakin kecil dengan semakin berkurangnya proporsi *biochar* (Tabel 1). Hal ini terjadi karena sumber utama asam humat dan fulvat pada formula KS dan kadar K₂O pada formula KK berasal dari *biochar*. Kadar asam humat dan asam fulvat pada formula KS100 (100% *biochar* tempurung kelapa sawit) mencapai 1,08 dan 2,55% dan kadar K₂O pada formula KK100 (100% *biochar* kulit buah kakao) mencapai 11,25% (Tabel 1). Dengan demikian, berkurangnya proporsi *biochar* pada formula KS dan KK akan mengurangi kontribusi asam humat dan asam fulvat terhadap formula KS dan K₂O pada formula KK berasal dari *biochar*. Kadar asam humat dan

asam fulvat pada formula KS100 (100% *biochar* tempurung kelapa sawit) mencapai 1,08 dan 2,55% dan kadar K₂O pada formula KK100 (100% *biochar* kulit buah kakao) mencapai 11,25% (Tabel 1). Dengan demikian, berkurangnya proporsi *biochar* pada formula KS dan KK akan mengurangi kontribusi asam humat dan asam fulvat terhadap formula KS dan K₂O pada formula KK.

Sifat fisik tanah

Formula pembenah tanah *biochar* memberikan pengaruh yang berbeda pada tanah mineral masam Tamanbogo dan non masam Pangandaran. Ditinjau dari sifat fisik tanah, seluruh formula dapat digunakan untuk tanah masam, walaupun *biochar* tempurung sawit dengan proporsi terendah (formula KS25) memberikan BD yang lebih tinggi ($1,17 \pm 0,02 \text{ gr cm}^{-3}$), serta RPT dan PDC lebih rendah yaitu $52,81 \pm 0,30\% \text{ vol}$ dan $23,20 \pm 0,72\% \text{ vol}$ (Tabel 2), namun sifat fisik tersebut masih tergolong normal.

Tabel 2 memperlihatkan bahwa tanah yang diberi formula 100% *biochar* (SP100, KK100, dan KS100) mempunyai sifat fisik yang tidak berbeda nyata dengan formula lainnya ($P < 0,05$). Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa pori air tersedia pada tanah yang diberi formula tanah *biochar* 100% (SP100, KK100, dan KS100) relatif lebih baik, kecuali pada *biochar* tempurung sawit (KS) di lahan masam menghasilkan pori drainase cepat sekitar $23,20 \pm 0,72\% \text{ vol}$ Sampai 10 minggu setelah aplikasi, secara keseluruhan formula SP50, KK100, dan KK25 memberikan sifat fisik yang lebih baik dibandingkan

Tabel 2. Berat isi (BI), ruang pori total (RPT), dan pori drainase cepat (PDC) dengan berbagai komposisi biochar 10 minggu setelah aplikasi pada tanah masam dan tanah non masam

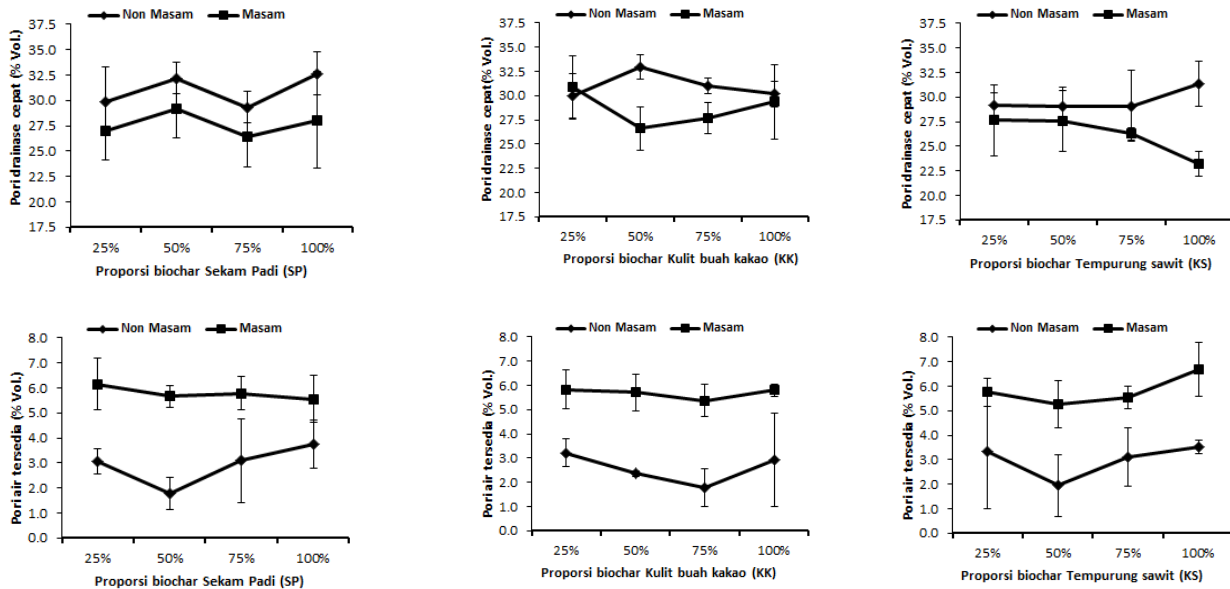
Table 2. Bulk density (BD), total pore (RPT), and aeration pore (PDC) spaces under different biochar compositions after 10 weeks of application on acid and non acid soils

Perlakuan	Tanah masam			Tanah non masam		
	BI	RPT	PDC	BI	RPT	PDC
	gr cm ⁻³	 % vol		gr cm ⁻³	 % vol	
SP100	1,12 ab	54,33 ab	27,05 ab	1,44 ab	45,31 abc	30,15 a
SP75	1,11 ab	54,35 ab	26,47 ab	1,49 ab	43,10 c	29,09 a
SP50	1,10 ab	55,50 ab	29,16 ab	1,43 ab	45,43 abc	29,93 a
SP25	1,08 b	54,75 ab	28,06 ab	1,43 ab	46,54 ab	32,18 a
KK100	1,09 ab	57,36 a	30,95 a	1,41 b	45,49 abc	32,97 a
KK75	1,12 ab	55,85 ab	27,71 ab	1,44 ab	44,21 abc	29,15 a
KK50	1,13 ab	54,42 ab	26,62 ab	1,42 b	46,70 a	31,33 a
KK25	1,08 b	56,25 ab	29,35 ab	1,44 ab	44,99 abc	29,34 a
KS100	1,14 ab	55,51 ab	27,64 ab	1,47 ab	44,48 abc	31,03 a
KS75	1,13 ab	54,47 ab	26,25 ab	1,50 a	43,29 bc	32,65 a
KS50	1,11 ab	53,91 ab	27,56 ab	1,47 ab	43,11 c	29,12 a
KS25	1,17 a	52,81 b	23,20 b	1,43 ab	46,08 abc	29,91 a

Keterangan:

SP = sekam padi; KK = kulit buah kakao; KS = tempurung kelapa sawit

Angka- angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf 5% uji DMRT



Gambar 1 Pori drainase cepat dan pori air tersedia dengan pembenah tanah berbahan baku *biochar* berbagai limbah pertanian pada 10 minggu setelah aplikasi pada tanah masam dan non masam (bar menunjukkan standar deviasi)

Figure 1. Aeration pore and water available pore as affected by different compositions and agricultural-waste materials of *biochar* 10 weeks after application on acid and non acid soils (the bars indicate standard deviation)

formula lainnya dengan dosis formula pembenah tanah sebesar 5 t ha⁻¹. Perbaikan sifat fisik tersebut diduga merupakan pengaruh tidak langsung dari meningkatnya pH tanah mineral masam dan ketersediaan hara sehingga terjadi peningkatan populasi mikroba (Lehmann *et al.* 2011; Sohi *et al.* 2010). Gaskin *et al.* (2007) menginformasikan bahwa terdapat korelasi antara perubahan ukuran pori dan sifat fisik lainnya dengan populasi mikroba pada tanah yang diberi *biochar*.

Tanah mineral non masam Pangandaran memiliki pori air tersedia sangat rendah yaitu < 4% vol, dengan pori drainase tergolong tinggi > 29% vol. Aplikasi pembenah tanah *biochar*, memperlihatkan bahwa formula KS25 menghasilkan BD lebih rendah dan RPT lebih tinggi dibandingkan formula lainnya (Tabel 2). Pada tanah non masam, pori air tersedia dan pori drainase cepat pada tanah yang diberi formula 50% *biochar* dengan 25% *biochar* relatif sama, kecuali pada *biochar* sekam padi (Gambar 1). Sampai 10 minggu setelah aplikasi, secara keseluruhan formula SP25, KK50 dan KS25 memberikan sifat fisik yang lebih baik dibandingkan formula lainnya dengan dosis formula pembenah tanah sebesar 5 t ha⁻¹.

Pada umumnya *biochar* di dalam tanah berasosiasi dengan fraksi tanah yang sangat halus (< 50 µm). Kinerja pembenah tanah dalam meningkatkan kualitas tanah tergantung pada kualitas formula pembenah tanah tersebut. Beberapa karakteristik formula pembenah tanah seperti kandungan fraksi bahan organik (C-organik, asam humat dan asam fulvat) dan nisbah C/N diduga akan berpengaruh terhadap sifat fisik tanah masam. Peranan fraksi bahan

organik tersebut sebagai pemantap agregat tanah dapat mempertahankan dan memperbaiki kondisi sifat fisik tanah. Hasil analisis korelasi menunjukkan bahwa setelah 10 minggu aplikasi, karakteristik formulasi pembenah *biochar* limbah pertanian tidak berkorelasi dengan beberapa sifat fisik tanah, baik pada tanah mineral masam maupun non masam, seperti terlihat pada Tabel 3. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas pembenah tanah *biochar* limbah pertanian, dengan atau tanpa dicampur kompos, belum memberikan pengaruh secara nyata terhadap sifat fisik tanah.

Sifat kimia tanah

Pengaruh perbedaan formulasi *biochar* limbah pertanian terhadap sifat kimia tanah terlihat nyata pada tanah mineral masam dibandingkan pada tanah mineral non masam. Pada tanah mineral masam, hanya kandungan C-organik tanah yang tidak dipengaruhi oleh perbedaan formulasi pembenah tanah *biochar* (Tabel 4). pH tanah setelah aplikasi formula pembenah tanah SP75 dan KS25 berada pada kisaran 4,71-4,80 (masam) meningkat nyata dari semula hanya 4,1 (sangat masam). Peningkatan pH secara nyata pada tanah mineral masam akibat pemberian *biochar* juga ditemukan oleh Yuan *et al.* (2011).

Peningkatan pH tanah tidak berkorelasi dengan karakteristik formula pembenah tanah *biochar* yang diberikan, artinya pH formula pembenah tanah yang beragam tidak berdampak langsung terhadap pH tanah seperti ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 3. Korelasi (r) kualitas pembenah tanah *biochar* dengan sifat fisik tanah mineral masam KP Tamanbogo dan non masam PangandaranTable 3. Correlation (r) between soil conditioner based on *biochar* and soil physical properties in acid mineral soil of KP Tamanbogo and non acid soil of Pangandaran

Sifat fisik tanah	Karakteristik formula pembenah tanah <i>biochar</i>				
	C _{org}	nisbah C/N	Asam humat	Asam fulvat	Total asam humat dan fulvat
Tanah masam KP Tamanbogo					
Pori air tersedia	-0,123	-0,150	-0,012	-0,001	-0,005
Pori drainase cepat	-0,249	-0,150	0,155	-0,065	-0,094
Kadar air pF 2,54	0,022	-0,031	0,100	0,098	0,101
Kadar air pF 4,2	0,118	0,079	0,123	0,112	0,118
Tanah non masam Pangandaran					
Pori air tersedia	-0,150	-0,243	0,146	0,126	0,135
Pori drainase cepat	0,065	0,165	-0,083	-0,141	-0,126
Kadar air pF 2,54	0,068	-0,090	0,212	0,110	0,144
Kadar air pF 4,2	0,229	0,149	0,087	-0,006	0,023

Tabel 4. Sifat kimia tanah pada pengujian formulasi pembenah tanah *biochar* limbah pertanian dan kompos pada 10 minggu setelah aplikasiTable 4. Soil chemical properties under the influence of different compositions of agricultural-waste *biochar* and compost 10 weeks after application

Perla- kuan	Tanah masam KP Tamanbogo						Tanah non masam Pangandaran					
	pH H ₂ O	C-organik	N-total	P-tersedia	K-total	KTK	pH H ₂ O	C-organik	N-total	P-tersedia	K-total	KTK
		 %	 ppm			cmol ₍₊₎ kg ⁻¹		 %	 ppm			cmol ₍₊₎ kg ⁻¹
SP100	4,73 ab	1,09 a	0,10 ab	8,14 bcd	57,1ab	4,16 ab	8,03 c	0,40 a	0,037 ab	3,33 b	30,3 a	5,43 a
SP75	4,80 a	1,15 a	0,10 ab	10,49 abc	110,8 a	4,02 ab	8,13 ab	0,37 a	0,033 bc	3,63 ab	31,1 a	4,83 a
SP50	4,49 b	1,13 a	0,10 ab	6,82 cd	59,3 ab	3,81 ab	8,13 ab	0,43 a	0,037 ab	3,94 ab	31,7 a	4,87 a
SP25	4,71 ab	1,13 a	0,11 a	8,74 abcd	65,2 ab	3,99 ab	8,13 ab	0,40 a	0,033 bc	3,98 ab	32,1 a	5,07 a
KK100	4,61ab	1,14 a	0,09 b	4,71 d	38,4 b	3,67 b	8,03 c	0,40 a	0,037 ab	3,34 ab	27,4 a	5,77 a
KK75	4,59 ab	1,13 a	0,10 ab	7,28 cd	52,1 ab	4,00 ab	8,13 ab	0,40 a	0,033 bc	3,55 ab	27,8 a	5,23 a
KK50	4,61 ab	1,11 a	0,10 ab	6,95 cd	49,8 ab	3,85 ab	8,10 abc	0,40 a	0,030 c	3,78 ab	28,6 a	4,87 a
KK25	4,67 ab	1,15 a	0,11 a	12,59 ab	77,6 ab	4,49 a	8,13 ab	0,40 a	0,037 ab	4,23 a	30,2 a	4,80 a
KS100	4,56 ab	1,12 a	0,09 b	4,44 d	66,4 ab	3,65 b	8,03 c	0,43 a	0,040 a	3,22 b	30,9 a	4,83 a
KS75	4,58 ab	1,14 a	0,10 ab	10,08 abc	87,5 ab	4,17 ab	8,13 ab	0,37 a	0,033 bc	3,50 ab	27,3 a	4,83 a
KS50	4,49 b	1,15 a	0,10 ab	9,31 abcd	65,6 ab	3,91 ab	8,10 abc	0,43 a	0,033 bc	4,04 ab	29,5 a	5,10 a
KS25	4,71 ab	1,17 a	0,11 a	13,77 a	96,7 ab	4,32 ab	8,17 a	0,43 a	0,037 ab	3,93 ab	31,5 a	4,93 a

Pada Tabel 5 diperlihatkan bahwa pada tanah mineral masam KP Tamanbogo, hanya kadar N-total dan P-tersedia tanah yang berkorelasi nyata dengan kadar N dan P formula pembenah tanah *biochar* dengan koefisien korelasi (r) masing-masing 0,351 ($P \leq 0,05$) dan 0,406 ($P \leq 0,05$). Bila dikaitkan dengan kualitas formula pembenah tanah *biochar* pada Tabel 1, maka terlihat bahwa semakin rendah proporsi *biochar* limbah pertanian atau semakin besar proporsi kompos pada ke

tiga jenis *biochar* limbah pertanian maka semakin tinggi kadar N-total dan P-tersedia dalam tanah. Ketersediaan hara akibat pemberian *biochar* terjadi melalui tiga mekanisme yaitu (1) suplai hara langsung dari *biochar* (Mukherjee and Zimmerman 2013), (2) kemampuan *biochar* dalam meretensi hara dan, (3)

dinamika mikroorganisme dalam tanah (Lehmann *et al.* 2003, Lehmann and Rondon 2006). Kemampuan *biochar* dalam meretensi hara dibuktikan oleh Hale *et al.* (2013) dengan menggunakan kolom tanah di laboratorium dimana *biochar* mampu meretensi N dan P sehingga tidak mudah hanyut terbawa air dan akan lebih tersedia bagi tanaman.

Respon tanah mineral non masam terhadap aplikasi formula pembenah tanah *biochar* limbah pertanian sedikit berbeda dengan tanah mineral masam. pH tanah yang diberi formula pembenah tanah 100% *biochar* nyata lebih rendah dibandingkan formula yang dicampur dengan kompos, sedangkan pemberian formula KS50 dan SP25 menghasilkan pH yang tidak terlalu tinggi yaitu sekitar 8,10-8,13 (Tabel 5). Pada tanah mineral non masam Pangandaran, kadar N-total tidak berkaitan dengan kadar

Tabel 5. Korelasi kualitas pembenah tanah *biochar* dengan sifat kimia tanah mineral masam KP Tamanbogo dan non masam PangandaranTable 5. Correlation between *biochar* and compost soil conditioner and soil chemical properties in acid mineral soil KP Tamanbogo and non acid mineral soil Pangandaran

Karakteristik formula pembenah tanah <i>biochar</i>	Sifat kimia tanah					
	pH H ₂ O	C-organik	N-total	K-total	P-tersedia	KTK
Tanah masam KP Tamanbogo						
pH	-0,040	-0,144	-0,165	-0,341	-0,104	-0,074
C-organik	-0,130	0,269	0,300*	0,263	0,423**	0,197
N	-0,010	0,300	0,351**	0,321	0,406	0,221
K	-0,060	-0,414**	-0,159	0,142	-0,138	0,010
P	0,106	0,226	0,486	0,195	0,406**	0,342**
Nisbah C/N	-0,156	0,219	0,200	0,117	0,304	0,114
Asam humat	-0,046	0,076	0,054	0,214	0,063	0,310
Asam Fulvat	-0,103	-0,050	-0,177	0,060	-0,128	-0,181
Total asam humat dan fulvat	-0,087	-0,012	-0,110	0,109	-0,072	-0,139
Tanah non masam Pangandaran						
pH	-0,161	0,180	0,373**	0,113	-0,317	0,102
C-organik	0,196	-0,032	-0,320*	-0,101	0,407	-0,131
N	0,207	-0,022	-0,085	-0,014	0,180	-0,280
K	-0,050	0,294*	0,035	0,462***	0,380	-0,158
P	0,245	-0,123	-0,329	0,008	0,444***	-0,075
Nisbah C/N	0,166	-0,041	-0,395**	-0,090	0,485**	-0,141
Asam humat	-0,021	0,139	0,310*	0,052	-0,269	-0,234
Asam Fulvat	-0,100	0,197	0,387**	0,059	-0,355**	-0,160
Total asam humat dan fulvat	-0,080	0,184	0,371	0,058	-0,336**	-0,181

Keterangan: * ($P \leq 0,10$); ** ($P \leq 0,05$); *** ($P \leq 0,01$)

N dalam formula tetapi berkorelasi nyata dengan kadar asam fulvat dari formula pembenah tanah dengan nilai koefisien korelasi $r = 0,389$ ($P \leq 0,05$), kadar K-total tanah berkorelasi nyata dengan kadar K pada formula pembenah tanah *biochar* ($r = 0,462$; $P \leq 0,01$) sedangkan P-tersedia ditentukan oleh kadar P dalam formula pembenah tanah *biochar* ($r = 0,444$; $P \leq 0,01$). Hal ini menunjukkan bahwa rendahnya kandungan hara N, P, dan K dalam tanah mineral non masam sangat respon terhadap pemberian formula pembenah tanah *biochar*. Fakta tersebut juga sekaligus membuktikan bahwa pencampuran *biochar* dengan kompos sangat diperlukan pada tanah mineral non masam mengingat formula pembenah tanah 100% *biochar* sangat miskin unsur hara (Tabel 1).

Pemilihan formula *biochar* limbah pertanian untuk memperbaiki sifat kimia tanah mineral masam dan non masam perlu dilakukan dengan memperhatikan jenis kendala yang ada pada tanah tersebut. Pada tanah mineral non masam, pemilihan formula pembenah tanah *biochar* perlu memperhatikan kualitas formula pembenah tanah, khususnya kandungan hara dalam formula tersebut.

Tinggi tanaman jagung

Pada tanah mineral masam KP Tamanbogo, perbedaan pertumbuhan tanaman jagung sangat nyata pada umur jagung 2-6 MST dimana pertumbuhan jagung pada perlakuan formula SP75 dan KS100 terlihat paling rendah, sementara pada tanah yang diberi formula KK75 pada umur 6 MST lebih tinggi (Tabel 6). Hal ini menunjukkan bahwa secara umum tanah yang diberi formula dengan proporsi *biochar* >50% pertumbuhan jagung relatif lebih lambat dibandingkan dengan yang diberi formula dengan proporsi *biochar* sedang-rendah (proporsi 25 dan 50%). Namun demikian, setelah umur tanaman jagung 8 minggu perbedaan formula pembenah tanah tidak berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman jagung.

Gambar 2 menunjukkan bahwa pada tanah mineral non masam, perbedaan formula berpengaruh hingga tanaman berumur 8 minggu, pertumbuhan terbaik terjadi pada tanah yang diberi formula dengan porsi *biochar* paling rendah (SP25, KK25, dan KS25) sedangkan formula tanpa pukan (SP100, KK100, dan KS100) menghasilkan pertumbuhan paling rendah. Hal tersebut berarti bagi tanah non masam keberadaan kompos pukan sangat diperlukan untuk

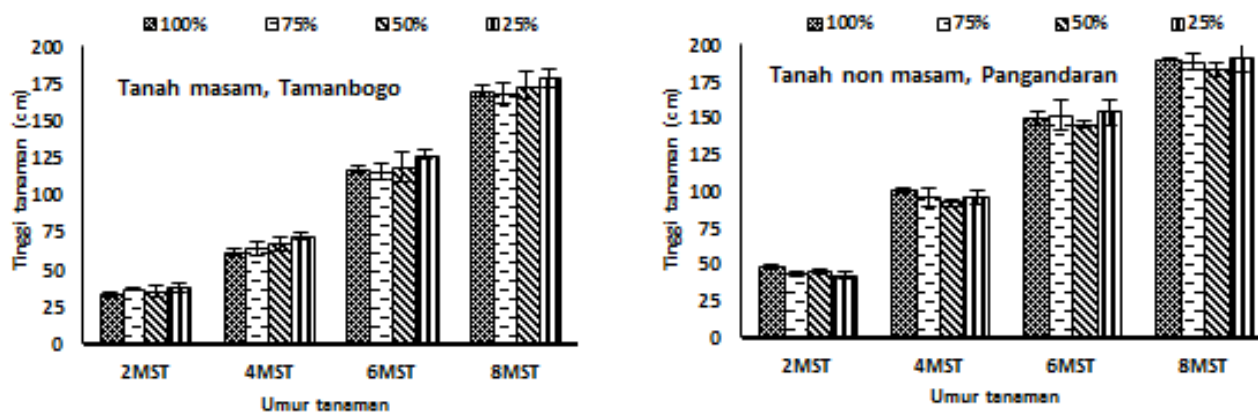
Tabel 6. Tinggi tanaman jagung pada pengujian formulasi pembenah tanah *biochar* limbah pertanianTable 6. Plant height of maize under different compositions of agricultural-waste *biochar* and compost soil conditioner

Perlakuan	Tanah masam KP Tamanbogo				Tanah non masam Pangandaran			
	2 MST	4 MST	6 MST	8 MST	2 MST	4 MST	6 MST	8 MST
	cm							
SP100	46,67 ab	99,00 ab	147,33 ab	186,67 a	31,83 b	52,33 e	99,67 b	156,33 cd
SP75	42,33 bc	87,33 c	139,67 b	178,00 a	33,90 b	66,17 bcd	124,67 a	181,33 a
SP50	39,67 c	95,00 abc	153,67 ab	188,67 a	36,33 ab	66,00 bcd	121,00 a	177,00 ab
SP25	43,33 abc	95,17 abc	151,33 ab	187,00 a	38,80 ab	71,33 abc	131,33 a	180,67 a
KK100	43,00 abc	96,83 abc	153,33 ab	188,67 a	32,83 b	51,00 e	93,67 b	152,00 d
KK75	42,00 bc	87,83 bc	147,33 ab	188,33 a	35,37 ab	72,50 abc	130,67 a	181,00 a
KK50	47,33 ab	102,83 a	159,67 a	198,00 a	31,83 b	61,33 cde	122,33 a	176,00 abc
KK25	48,00 ab	101,17 a	156,00 ab	185,33 a	37,23 ab	77,50 ab	132,67 a	182,33 a
KS100	43,67 abc	88,67 bc	141,33 b	185,67 a	35,87 ab	58,17 de	100,33 b	157,33 bcd
KS75	49,67 a	99,00 ab	142,33 b	185,67 a	36,17 ab	70,17 abc	130,67 a	176,67 ab
KS50	44,67 abc	95,17 abc	151,67 ab	189,00 a	38,57 ab	70,00 abc	123,00 a	172,33 abc
KS25	47,00 ab	105,17 a	161,33 a	196,00 a	42,47 a	79,33 a	130,67 a	177,67 a

Keterangan:

Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf 5% uji DMRT

MST = minggu setelah tanam

Gambar 2. Tinggi tanaman jagung pada tanah masam dan non-masam di bawah pengaruh berbagai komposisi pembenah tanah *biochar* limbah pertanian terhadap kompos dalam pembenah tanah (MST = minggu sesudah tanam; bar menunjukkan standar deviasi)Figure 2. Plant Height of maize under different composition of *biochar* in *biochar* and compost soil conditioner (MST is weeks after planting; the bars indicate standard deviation)

mendukung pertumbuhan tanaman seperti yang dinformasikan oleh Strubel *et al.* (2011). Hal tersebut membuktikan bahwa kualitas formula pembenah tanah *biochar* secara tidak langsung berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman jagung pada tanah mineral non masam. Formula pembenah tanah *biochar* dengan proporsi kompos semakin besar memberikan sifat kimia tanah yang lebih baik khususnya dalam ketersediaan hara yang berdampak pada semakin baiknya pertumbuhan tanaman jagung.

Kesimpulan

1. Formula pembenah tanah *biochar* limbah pertanian dengan atau tanpa dicampur kompos belum memberikan pengaruh secara nyata terhadap sifat fisik tanah.
2. Pada tanah mineral masam, pemberian formula pembenah tanah dengan dan tanpa kompos mampu meningkatkan pH tanah secara nyata dari 4,1 menjadi 4,49-4,80, sedangkan pada tanah mineral non masam pemberian pembenah tanah yang diformulasikan dengan kompos menghasilkan pH dan kadar hara lebih tinggi.

3. Pada tanah mineral masam, kadar N-total dan P-tersedia tanah berkorelasi nyata dengan kadar N dan P formula pembenah tanah *biochar* ($r = 0,351$; $P \leq 0,05$ dan $r = 0,406$; $P \leq 0,05$), sedangkan pada tanah mineral non masam kadar N tanah berkorelasi nyata dengan kadar asam fulvat formula ($r = 0,389$; $P \leq 0,05$), kadar K-total tanah berkorelasi nyata dengan kadar K ($r = 0,462$; $P \leq 0,01$) dan P-tersedia berkorelasi nyata dengan kadar P formula pembenah tanah *biochar* ($r = 0,444$; $P \leq 0,01$).
4. Respon tanaman jagung terhadap perbedaan formula pembenah tanah *biochar* limbah pertanian nyata terlihat pada tanah mineral non masam dimana formula dengan proporsi kompos lebih besar (*biochar* lebih rendah) memberikan tanaman yang lebih tinggi.
5. Pembenah tanah *biochar* dengan atau tanpa kompos dapat diaplikasikan pada tanah mineral masam, sedangkan pada tanah mineral non masam direkomendasikan untuk menggunakan formula pembenah tanah *biochar* yang dicampur kompos 25-50% (berdasarkan berat kering).

Daftar Pustaka

- Agus, F. and Irawan, 2006. Agricultural land conversion as a threat to food security and environmental quality. Pp 101-121. In Prosiding seminar Multifungsi dan Revitalisasi Pertanian. Kerjasama Badan Litbang Pertanian, MAFF, dan ASEAN Secretariat.
- Atkinson, C.J., J.D. Fitzgerald, and N.A. Hipps. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from *biochar* application to temperate soils: a review. *Plant and Soil* 337:1-18.
- Biro Pusat Statistik. 2000. Ekspor-Impor Indonesia.
- Blackwell, P., E. Krull, G. Butter, A. Herbert, and Z. Solaiman. 2010. Effect of banded *biochar* on dryland wheat production and fertilizer use in South-western Australia: an agronomic and economic perspective. *Australian Journal of Soil Research* 48:531-545.
- Brewer, C.E., R. Unger, K. Schmidt-Rohr, and R.C. Brown. 2011. Criteria to select *biochars* for field study based on *biochar* chemical properties. *Bioenergy Research* 4(4):312-323.
- Chen, B., D. Zhou, and L. Zhu. 2008. Transitional adsorption and partition of nonpolar and polar aromatic contaminants by *biochars* of pine needles with different pyrolytic temperatures. *Environmental Science & Technology* 42: 5137-5143.
- Direktorat Jenderal Bina Produksi. 2001. Statistik Perkebunan Indonesia.
- Direktorat Jenderal Bina Produksi. 2007. Statistik Perkebunan Indonesia.
- Gaskin, J.W., R.A. Speir, K. Harris, K.C. Das, R.D. Lee, L.A. Morris, and D.S. Fisher. 2010. Effect of peanut hull and pine chip *biochar* on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. *Agronomy Journal* 102:623-633.
- Glaser, B., J. Lehmann, and W. Zech. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal: A review. *Biol. Fert. Soils* 35:219-230.
- Haefele, S.M., Y. Konboon, W. Wongboon, S. Amarante, A.A. Maarifat, E.M. Pfeiffer, and C. Knoblauch. 2011. Effects and fate of *biochar* from rice residues in ricebased systems. *Field Crop. Res.* 123(3):430-440.
- Hale, S.E., V. Alling, V. Martinsen, J. Mulder, G.D. Breedveld, and G. Cornelissen. 2013. The sorption and desorption of phosphate-P, ammonium-N and nitrate-N in cacao shell and corn cob *biochars*. *Chemosphere* 91:1612-1619.
- Jeffery, S., F.G.A. Verheijen, M. van der Velde, and A.C. Bastos. 2011. A quantitative review of the effects of *biochar* application to soil on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture Ecosystems & Environment* 144(1):175-187.
- Jones, D.L., J. Rousk, G. Edwards-Jones, T.H. Deluca, and D.V. Murphy. 2012. *Biochar*-mediated change in soil quality and plant growth in a year field trial. *Soil Biology and Biochemistry* 45:113-124.
- Karlen, D.I., M.J. Mausbach, J.W. Doran, R.G. Cline, R.F. Harris, and G.E. Schuman. 1997. Soil Quality: a concept, definition and framework for evaluation (a guest editorial). *Soil. Sci. Am. J.* 61:4-10.
- Kurnia, U. 1996. Kajian Metode Rehabilitasi Lahan untuk Meningkatkan dan Melestarikan Produktivitas Tanah. Disertasi Fakultas Pasca Sarjana, IPB. Bogor.
- Kurnia, U., Sudirman, dan H. Kusnadi. 2005. Teknologi rehabilitasi dan reklamasi lahan terdegradasi. Hlm 141-168. Dalam Teknologi Pengelolaan Lahan Kering: Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Laird, D.A., P. Fleming, D.D. Davis, R. Horton, B.Q. Wang, and D.L. Karlen. 2010. Impact of *biochar* amendment on quality of typical midwestern agricultural soil. *Geoderma* 158(3-4):443-449.
- Lehmann, J., J.P. da Silva Jr., C. Steiner, T. Nehls, W. Zech, and B. Glaser. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferrasol of the Central Amazon Basin: fertilizer, manure and charcoal amends. *Plant and Soil* 249:342-357.
- Lehmann, J. and M. Rondon. 2006. *Biochar* soil management on highly weathered soils in humid tropic. Pp 517-530. In N. Uphoff (Eds.). *Biological Approaches to Sustainable Soil System*. CRP Press. USA.
- Lehmann, J., C.R. Matthias, T. Janice, A.M. Caroline, C.H. William, and C. David. 2011. *Biochar* effects on biota-A review. *Soil Biology and Biochemistry* 43:1812-1836.
- Mukherjee, A. and A.R. Zimmerman. 2013. Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced *biochars*. *Geoderma* 163:247-255.
- Mulyani dan F. Agus. 2006. Potensi lahan mendukung revitalisasi pertanian. Hlm 279-293. Dalam Prosiding Seminar Multifungsi dan Revitalisasi Pertanian. Kerjasama Badan Litbang Pertanian, MAFF, dan ASEAN Secretariat.
- Nurida, N.L. 2006. Peningkatan Kualitas Ultisol Jasinga Terdegradasi dengan pengolahan Tanah dan Pemberian bahan Organik. Disertasi Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.

- Nurida, N.L., A. Dariah, dan A. Rachman. 2008. Kualitas limbah pertanian sebagai bahan baku pembenah berupa *biochar* untuk rehabilitasi lahan. Hlm 209-215. *Dalam* Prosiding Seminar Nasional dan Dialog Sumberdaya Lahan Pertanian. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor.
- Ogawa, M. 1994. Symbiosis of people and nature in tropics. *Farming Japan* 28(5):10-34.
- Ogawa, M. 2006. Carbon sequestration by carbonization of biomass and forestation: three case studies. Pp 133-146.
- Rutherford, D.W., R.L. Wershaw, C.E. Rostad, and C.N. Kelly. 2012. Effect of formation conditions on biochar: compositional and structural properties of cellulose, lignin and pine biochars. *Biomass and Bioenergy*. Pp 693-701.
- Sohi, S., E. Krull, E. Lopez-Capel, and R. Bol. 2010. A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in Agronomy* 105:47-82.
- Spokas, K.A., K.B. Cantell, J.M. Novak, D.W. Archer, J.A. Ippolito, H.P. Collin, A.A. Boateng, I.M. Lima, M.C. Lamb, A.J. Mc Aloon, R.D. Lentz, and K.A. Nichols. 2012. *Biochar*: A synthesis of its agronomic impact beyond carbon sequestration. *J. Environ Qual* 41(4):973-989.
- Strubel, J.D., H.P. Collins, M. Garcia-Peiz, J. Tarara, D. Granatstein, and C.E. Kruger. 2011. Influence of constrasting biochar types on five soils at increasing rate of application. *Soil Sci.Soc. Am. J.* 75(4):1402-1413.
- Thahir, R., R. Rachmat, dan Suismono. 2008. Pengembangan Agroindustri Padi. Hlm 34-76. *Dalam* Suyamto (Ed). Padi: Inovasi Teknologi dan Ketahanan Pangan. Balai Besar Penelitian Padi, Subang.
- Van Zwieten, L., S. Kimber, S. Morris, K.Y. Chan, A. Downie, J. Rust, S. Joseph, and A. Cowie. 2010. Effect of *biochar* from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and Soil* 327:235-246.
- Yuan, J.H., W.R.K. Quan, and R.H. Wang. 2011. Comparison of ameliorating effect on an acidic ultisol between four crop straw and their *biochars*. *Journal of soil and Sediment* 11(5):741-750.