

UJI KEMANFAATAN BIOCHAR DAN BAHAN PEMBENAH TANAH UNTUK PERBAIKAN BEBERAPA SIFAT FISIK TANAH BERPASIR SERTA DAMPAKNYA TERHADAP PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI TEBU

Akhmad Hadi Faqih Syaikh¹, Budi Hariyono², Didik Suprayogo^{1*}

¹ Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya

² Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat, Malang

* penulis korespondensi: suprayogo@ub.ac.id

Abstract

Sugarcane development in Indonesia has shifted to dry land to meet the needs of the national sugar. However, there are many limiting factors like sandy texture, loose structure, low water holding capacity and low nutrient availability that are required to be solved improve to support plant growth and production. Application of soil conditioner is one of the ways to improve the physical properties of a sandy soil. This study was aimed to examine the benefits of sugarcane trash biochar, boiler ash, sugarcane trash compost, and manure as an alternative soil conditioners to improve some of the physical properties of sandy soil and its relationship to the growth and production of sugarcane. Treatments tested in this study were P0= control (without soil conditioner), P1= sugarcane trash 10 t ha⁻¹, P2 = sugarcane boiler ash 10 t ha⁻¹, P3 = manure 10 t ha⁻¹, P4 = sugarcane trash compost 10 t ha⁻¹, and P5 = sugarcane trash 5 t ha⁻¹ + manure 5 t ha⁻¹. The results showed that all treatments increased aggregate stability with very significant compared to the control at 5-11 months after planting. The best results were shown by the treatment of 10 t ha⁻¹ of sugarcane trash biochar that could consistently improve sandy soil aggregate stability at 5-11 months after planting. Application of biochar and others soil conditioner also significantly affected soil bulk density, pF 4.2, available water content, penetration resistance, Lrv, plant height, stem diameter, although they did not consistently occur in the entire observation period. Overall effect of sugarcane trash biochar and others soil conditioners to physical properties of sandy soil had no effect on increasing the growth and production of sugarcane.

Keywords: biochar, sandy soil, soil conditioner, soil physical properties, sugarcane

Pendahuluan

Tebu merupakan tanaman utama penghasil gula di Indonesia. Dewan Gula Indonesia mencatat produksi gula tahun 2007 mencapai 2,41 juta atau bertambah 125 ribu ton dari tahun sebelumnya. Kenaikan tersebut lebih banyak disebabkan oleh perluasan area lahan (Shofy, 2008).

Sejak tahun 1970-an areal penanaman tebu bergeser ke lahan kering karena lahan-lahan basah seperti sawah lebih difokuskan untuk produksi padi. Namun angka tersebut belum mampu memenuhi kebutuhan dalam

negeri yang mencapai 3 juta ton per tahun. Pengembangan tebu di lahan kering dinilai sebagai pilihan yang sangat menjanjikan untuk mempercepat proses pencapaian kuantitas, kualitas, dan kontinuitas produksi gula menuju kemandirian gula nasional, namun yang menjadi masalah adalah berkaitan dengan ketersediaan air (Irianto, 2003).

Lahan kering memiliki ciri-ciri yang juga menjadi faktor pembatas berupa tekstur berpasir, struktur lepas, daya menyimpan dan kandungan hara yang rendah sehingga diperlukan perbaikan sifat-sifatnya (Yuwono,

2009). Tebu bukan hanya komoditas yang memiliki berat panen besar, tetapi menyisakan residu biomassa yang dapat menjadi sumber energi yang sangat besar (Liu *et al.*, 2012). Pada praktiknya, limbah tebu di lahan diatasi melalui pembakaran, padahal dapat berdampak pada penurunan produktivitas lahan setelah tahun ketiga (Akbar dan Priyanto, 2008). Sedangkan limbah tebu yang dihasilkan pada pabrik, blotong dan abu ketel memiliki kandungan hara yang dibutuhkan tanaman dan jika dibiarkan dapat menyebabkan masalah lingkungan (Elsayed *et al.*, 2008).

Limbah tebu di lahan maupun di pabrik dapat dijadikan sebagai bahan pembenah tanah yang dapat memperbaiki kualitas tanah. Dari berbagai macam bahan pembenah tanah, biochar menjadi alternatif disamping bahan pembenah tanah lain yang merupakan bahan organik. Biochar stabil di dalam tanah bersifat jangka panjang dan diproduksi dengan teknologi sederhana yang dianggap sebagai keuntungan (Nichols, 2008).

Berbagai macam penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa biochar bermanfaat untuk memperbaiki kualitas secara fisik dengan meningkatkan kapasitas menahan air dan kemandapan agregat, memperbaiki berat isi dan menurunkan ketahanan tanah karena strukturnya yang berpori (Melo *et al.*, 2013). Namun, dalam penelitian sebelumnya pemberian biochar pada beberapa jenis tanah berbeda tidak berpengaruh nyata pada kemandapan agregat (Liu *et al.*, 2012). Hal ini disebabkan oleh partikel biochar yang hanya berkaitan dengan fraksi tanah yang sangat halus sebesar 50 μ m (Brodowski *et al.*, 2006) dan kehadiran biochar hanya terletak pada kelompok-kelompok kecil partikel tanah atau agregat dibandingkan dengan bahan organik (Liang *et al.*, 2008). Meskipun demikian, dalam beberapa tahun terakhir minat untuk mengaplikasikan biochar untuk memperbaiki kondisi tanah telah banyak berkembang (Xu *et al.*, 2013).

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menguji kemanfaatan biochar serasah tebu dan bahan pembenah tanah lainnya terhadap beberapa sifat fisik tanah berpasir serta dampaknya terhadap pertumbuhan dan produksi tebu. Bahan pembenah tanah lain yang diujikan antara lain abu ketel, kompos, dan blotong yang merupakan limbah pabrik

gula dan pupuk kandang yang telah banyak ditemukan praktiknya di lapangan karena manfaatnya telah banyak dirasakan dalam memperbaiki kualitas tanah.

Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Kebun Percobaan Karangploso Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat (BALITTAS) Kabupaten Malang Jawa Timur pada bulan Maret sampai Desember 2014. Rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian adalah rancangan acak kelompok (RAK) dengan 10 perlakuan dan 3 ulangan. Perlakuan dalam penelitian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perlakuan dalam penelitian

Kode Perlakuan	Deskripsi
P0	Kontrol (tanpa pembenah tanah)
P1	Biochar serasah tebu 10 t ha ⁻¹
P2	Abu Ketel 10 t ha ⁻¹
P3	Pupuk Kandang 10 t ha ⁻¹
P4	Kompos serasah tebu 10 t ha ⁻¹
P5	Biochar serasah tebu 5 t.ha ⁻¹ + pupuk kandang 5 t ha ⁻¹
P6	Biochar serasah tebu 5 t.ha ⁻¹ kompos serasah tebu 5 t.ha ⁻¹
P7	Abu ketel 5 t.ha ⁻¹ + pupuk kandang 5 t.ha ⁻¹
P8	Abu ketel 5 t.ha ⁻¹ + kompos serasah tebu 5 t.ha ⁻¹
P9	Abu ketel 5 t.ha ⁻¹ + blotong 5 t.ha ⁻¹

Parameter yang diamati dalam penelitian ini terdiri dari parameter sifat tanah dan pertumbuhan dan produksi tebu. Sifat tanah yang diamati antara lain: berat isi, berat jenis, porositas, kadar air kapasitas lapangan (pF 2,5), kadar air titik layu permanen (pF 4,2), kadar air tersedia, kemandapan agregat, ketahanan penetrasi, permeabilitas, KTK, dan bahan organik. Sedangkan pertumbuhan tebu yang diamati meliputi tinggi tanaman, diameter batang, jumlah ruas, jumlah anakan, Lrv dan Drv, serta produksi tebu yang terdiri dari berat basah batang terpanen dan rendemen potensial.

Hasil dan Pembahasan

Berat Isi dan Berat Jenis Tanah

Pada umumnya kualitas tanah yang baik ditunjukkan oleh nilai berat isi dan berat jenis tanah yang rendah, namun pemberian biochar dan bahan pembenah tanah dalam penelitian ini diharapkan mampu untuk memberikan

pengaruh sebaliknya yaitu dengan meningkatkan berat isi dan berat jenis tanah sekaligus struktur tanah berpasir yang lepas dapat diperbaiki. Namun, dalam penelitian ini pemberian biochar dan bahan pembenah tanah lain berpengaruh nyata justru dengan menurunkan berat isi tanah berpasir pada 11 BST (Tabel 2).

Tabel 2. Hasil uji kemanfaatan biochar dan bahan pembenah tanah terhadap berat isi tanah berpasir

Kode Perlakuan	Berat isi (g cm^{-3}) (BST)						
	5	6	7	8	9	10	11
P0	1,36	1,28	1,21	1,25	1,18	1,14	1,32 b
P1	1,25	1,22	1,30	1,24	1,27	1,21	1,23 ab
P2	1,31	1,21	1,29	1,22	1,25	1,15	1,22 ab
P3	1,16	1,23	1,28	1,19	1,16	1,22	1,25 ab
P4	1,13	1,17	1,31	1,19	1,16	1,1	1,18 ab
P5	1,32	1,25	1,33	1,22	1,2	1,2	1,21 ab
P6	1,24	1,16	1,33	1,22	1,2	1,18	1,15 a
P7	1,26	1,26	1,31	1,23	1,24	1,15	1,24 ab
P8	1,2	1,25	1,26	1,23	1,22	1,22	1,23 ab
P9	1,3	1,26	1,27	1,22	1,16	1,17	1,21 ab
BNJ	tn	tn	tn	tn	tn	tn	0,1598

Keterangan: Bilangan yang didampingi oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ 5%; (BST) Bulan Setelah Tanam; (tn) tidak nyata. Kode Perlakuan sama dengan Tabel 1

Perlakuan Biochar serasah tebu 5 t.ha⁻¹ kompos serasah tebu 5 t ha⁻¹ (P6) memberikan penurunan berat isi terbesar. Seperti halnya Rajiman (2014) yang menyatakan pemberian bahan pembenah tanah menurunkan berat isi tanah berpasir, sedangkan kompos yang dapat menjadikan tanah berpasir lebih kompak (Setyorini *et al.*, 2006) tidak terjadi dalam penelitian ini dan justru memberikan pengaruh sebaliknya. Hal ini diduga disebabkan oleh biochar memiliki kemampuan untuk menurunkan kekuatan tanah dan memodifikasi berat isi (Zeelie, 2012). Hasil yang relatif berbeda terjadi pada berat jenis tanah (Tabel 3).

Pengaruh yang berbeda nyata hanya terjadi pada 6 BST dan berat jenis tanah meningkat pada semua perlakuan dibandingkan kontrol kecuali pada kompos serasah tebu 10 t.ha⁻¹ (P4). Kompos serasah tebu berpengaruh dalam menurunkan berat jenis tanah seperti pada umumnya pemberian bahan organik ke

dalam tanah dapat menurunkan berat jenis tanah (Juo dan Franzluebbers, 2003).

Porositas Total Tanah

Porositas tanah sangat dipengaruhi oleh kandungan bahan organik. Pada umumnya pemberian bahan organik pada tanah bertujuan untuk meningkatkan porositas total tanah, sedangkan pada tanah berpasir pemberian biochar dan bahan pembenah tanah diharapkan mampu memperbaiki strukturnya yang lepas dengan mengurangi pori makro dan meningkatkan jumlah pori-pori yang dapat menahan air seperti halnya hasil penelitian Mowidu (2001) yang menyatakan pemberian 20-30 ton bahan organik pada tanah dapat meningkatkan jumlah pori berguna dan pori penyimpan air. Pemberian biochar dan bahan pembenah tanah pada tanah berpasir tidak memberikan pengaruh yang nyata (Tabel 4).

Tabel 3. Hasil uji kemanfaatan biochar dan bahan pembenah tanah terhadap jenis tanah berpasir

Kode Perlakuan	Berat jenis (g cm^{-3}) (BST)						
	5	6	7	8	9	10	11
P0	2,23	2,18 ab	2,35	2,24	2,17	2,20	2,28
P1	2,27	2,19 ab	2,30	2,34	2,21	2,18	2,30
P2	2,27	2,21 ab	2,30	2,27	2,24	2,19	2,31
P3	2,22	2,23 ab	2,26	2,25	2,19	2,24	2,27
P4	2,22	2,14 a	2,30	2,28	2,19	2,17	2,28
P5	2,24	2,23 ab	2,25	2,31	2,23	2,17	2,29
P6	2,24	2,21 ab	2,25	2,29	2,19	2,22	2,26
P7	2,22	2,20 ab	2,32	2,28	2,17	2,19	2,24
P8	2,23	2,30 b	2,26	2,23	2,13	2,25	2,29
P9	2,26	2,21 ab	2,26	2,28	2,20	2,20	2,24
BNJ	tn	0,1360	tn	tn	tn	tn	tn

Keterangan: Bilangan yang didampingi oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ 5%; (BST) Bulan Setelah Tanam; (tn) tidak nyata. Kode Perlakuan sama dengan Tabel 1

Tabel 4. Hasil uji kemanfaatan biochar dan bahan pembenah tanah terhadap porositas total tanah berpasir

Kode Perlakuan	Porositas total (%) (BST)						
	5	6	7	8	9	10	11
P0	38,93	41,21	48,43	44,20	45,49	48,39	42,24
P1	44,95	44,19	43,24	46,97	42,46	44,30	46,49
P2	42,44	45,07	43,97	46,42	44,35	47,65	46,97
P3	47,99	44,75	43,53	47,08	47,12	45,58	44,75
P4	49,36	45,31	43,26	47,90	46,92	49,50	48,23
P5	40,98	43,90	40,57	47,00	46,43	44,63	47,27
P6	44,48	47,36	40,82	46,46	45,29	46,88	48,85
P7	43,07	42,84	43,43	46,14	43,09	47,43	44,43
P8	46,24	45,79	44,34	44,84	42,59	45,76	46,58
P9	42,43	42,81	43,80	46,55	47,27	46,87	45,96
BNJ	tn	tn	tn	tn	tn	tn	tn

Keterangan: Bilangan yang didampingi oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ 5%; (BST) Bulan Setelah Tanam; (tn) tidak nyata. Kode Perlakuan sama dengan Tabel 1

Hasil tersebut disebabkan oleh pemberian biochar dan bahan pembenah tanah lain yang secara keseluruhan belum mampu secara konsisten berpengaruh nyata terhadap berat isi dan berat jenis tanah. Porositas ditentukan oleh besaran relatif berat isi dan berat jenis tanah. Semakin besar berat isi mendekati nilai berat jenis tanah, porositasnya semakin kecil (Santi dan Goenadi, 2010).

Kadar Air Kapasitas Lapangan pF 2,5 dan Titik Layu Permanen pF 4,2

Hasil analisis ragam menunjukkan persentase kadar air kapasitas lapangan pF 2,5 sebagai dampak dari pemberian biochar dan bahan pembenah tanah pada tanah berpasir pada umur 5-11 BST tidak berbeda nyata antar perlakuan (Tabel 5).

Tabel 5. Hasil uji kemanfaatan biochar dan bahan pembenah tanah terhadap kadar air kapasitas lapangan pF 2,5

Kode Perlakuan	pF 2,5 (%)						
	(BST)						
	5	6	7	8	9	10	11
P0	24,09	17,12	15,94	15,47	14,74	14,23	15,59
P1	22,28	18,19	18,82	16,32	17,36	16,58	15,37
P2	23,36	17,87	18,17	16,44	17,03	15,10	15,30
P3	20,22	17,65	17,19	15,59	15,35	15,00	15,17
P4	21,34	19,02	19,75	15,79	16,86	14,89	14,62
P5	23,50	18,63	18,92	16,33	17,13	15,17	15,33
P6	22,60	17,71	18,08	15,67	16,41	15,63	14,36
P7	23,09	18,07	17,98	15,72	16,73	15,28	15,42
P8	21,66	18,15	18,44	16,08	15,73	16,05	15,11
P9	23,32	19,05	18,37	15,67	15,97	15,31	14,65
BNJ	tn	tn	tn	tn	tn	tn	tn

Keterangan: Bilangan yang didampingi oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ 5%; (BST) Bulan Setelah Tanam; (tn) tidak nyata. Kode Perlakuan sama dengan Tabel 1

Hal ini diduga disebabkan oleh dosis biochar dan bahan pembenah tanah yang diberikan pada tanah berpasir pada tahun pertama belum mampu meningkatkan kadar air kapasitas lapangan karena Sinulingga dan Darmanti (2008) menyatakan dalam penelitiannya semakin banyak pemberian

bahan pembenah tanah pada tanah pasir, maka air semakin banyak ditahan oleh tanah pasir. Pemberian biochar dan bahan pembenah tanah tidak secara konsisten memberikan pengaruh yang nyata terhadap kadar air titik layu permanen pF 4,2 (Tabel 6).

Tabel 6. Hasil uji kemanfaatan biochar dan bahan pembenah tanah terhadap kadar air titik layu permanen pF 4,2

Kode Perlakuan	pF 4,2 (%)						
	(BST)						
	5	6	7	8	9	10	11
P0	7,88	9,59 ab	5,37	8,34	10,62 ab	8,70 abc	8,41
P1	6,73	9,31 a	6,02	8,75	13,53 d	8,39 abc	8,79
P2	7,20	10,26 ab	5,63	7,79	11,74 abcd	7,53 ab	7,87
P3	6,94	11,66 ab	5,82	9,12	10,81 abc	8,38 abc	7,57
P4	6,77	9,53 ab	6,63	8,61	13,24 cd	9,82 c	7,82
P5	8,30	11,84 b	6,28	7,81	11,49 abcd	6,78 a	7,90
P6	6,67	11,52 ab	6,49	8,07	13,05 bcd	8,29 abc	7,46
P7	7,04	9,98 ab	5,57	7,92	10,66 abc	8,11 abc	8,05
P8	8,04	10,01 ab	6,16	10,87	9,5 a	9,07 bc	7,66
P9	6,89	10,99 ab	6,28	8,61	9,29 a	7,67 ab	7,73
BNJ	tn	2,426	tn	tn	2,579	1,945	tn

Keterangan: Bilangan yang didampingi oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ 5%; (BST) Bulan Setelah Tanam; (tn) tidak nyata. Kode Perlakuan sama dengan Tabel 1

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa pemberian biochar dan bahan pembenah tanah berbeda sangat nyata antar perlakuan pada 6 BST, 9 BST, dan 10 BST. Namun, hasil terbaik yang muncul juga tidak secara konsisten ditunjukkan oleh salah satu perlakuan. Adanya peningkatan nilai pF 4,2 dibandingkan kontrol sebagai akibat pemberian biochar dan bahan pembenah tanah dalam penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian Rawls et al. (2003) yang

menyatakan bahan organik dapat meningkatkan retensi air pada tanah-tanah berpasir.

Kadar Air Tersedia

Pemberian biochar dan bahan pembenah tanah berbeda sangat nyata antar perlakuan pada 9 BST dan 10 BST (Tabel 7). Hasil uji BNJ pada taraf 5% menunjukkan pada 9 BST perlakuan abu ketel 5 t.ha⁻¹ + blotong 5 t.ha⁻¹ (P9) menjadi perlakuan yang terbaik dalam meningkatkan kadar air tersedia.

Tabel 7. Hasil uji kemanfaatan biochar dan bahan pembenah tanah terhadap kadar air tersedia

Kode Perlakuan	Kadar air tersedia (%) (BST)						
	5	6	7	8	9	10	11
P0	16,21	7,53	10,57	7,13	4,12 ab	5,53 ab	7,19
P1	15,55	8,88	12,81	7,57	3,84 ab	8,19 ab	6,59
P2	16,17	7,61	12,55	8,65	5,29 ab	7,58 ab	7,43
P3	13,28	5,99	11,37	6,47	4,54 ab	6,61 ab	7,60
P4	14,57	9,49	13,12	7,18	3,62 a	5,06 a	6,80
P5	15,20	6,79	12,65	8,52	5,64 ab	8,39 b	7,43
P6	15,93	6,20	11,59	7,60	3,37 a	7,34 ab	6,91
P7	16,05	8,09	12,41	7,79	6,07 ab	7,17 ab	7,38
P8	13,62	8,14	12,28	5,20	6,23 ab	6,98 ab	7,45
P9	16,43	8,06	12,09	7,06	6,68 b	7,64 ab	6,92
BNJ	tn	tn	tn	tn	3,082	3,184	tn

Keterangan: Bilangan yang didampingi oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ 5%; (BST) Bulan Setelah Tanam; (tn) tidak nyata. Kode Perlakuan sama dengan Tabel 1

Blotong yang sebagian besar terdiri dari serat-serat tebu menjadi sumber unsur-unsur organik yang berperan dalam pembentukan humus sehingga dapat memperbaiki tanah secara fisik termasuk meningkatkan ketersediaan air dalam tanah (Muhsin, 2011). Sedangkan pada 10 BST peningkatan kadar air tersedia paling tinggi dibanding kontrol terjadi pada perlakuan biochar serasah tebu 5 t.ha⁻¹ + pupuk kandang 5 t.ha⁻¹ (P5). Biochar serasah tebu memiliki struktur yang porus (Melo et al., 2013) sehingga dapat memberikan kemampuan pada tanah berpasir dalam menyimpan air dan ketersediaan air dapat ditingkatkan. Pupuk kandang yang merupakan bahan organik dapat meningkatkan kemampuan tanah menahan air dengan mengikat molekul-molekul air melalui gugus-gugus fungsionalnya dan pori-pori mikronya sebagai dampak dari perbaikan agregasi tanah

(Stevenson, 1982). Pupuk kandang pada pertanaman tebu meningkatkan kadar air pada saat kapasitas lapangan dan titik layu permanen sehingga air tersedia juga meningkat (Goenadi, 1993). Atas dasar itu perlakuan biochar dan pupuk kandang dapat memberikan pengaruh terbaik dalam ketersediaan air pada tanah berpasir.

Kemantapan Agregat

Pemberian biochar dan bahan pembenah tanah dapat memperbaiki agregasi tanah berpasir dibandingkan dengan perlakuan kontrol yang tanpa pemberian bahan pembenah tanah pada seluruh waktu pengamatan 5-11 BST (Tabel 8). Berdasarkan uji BNJ pada taraf 5% perlakuan biochar serasah tebu 10 t.ha⁻¹ memberikan pengaruh terbaik terhadap kemantapan agregat tanah berpasir pada seluruh waktu pengamatan.

Hasil tersebut sejalan dengan Liu *et al.* (2012) dalam hasil penelitiannya menyatakan biochar berpengaruh signifikan dalam pembentukan agregat tanah. Agregat tanah beserta stabilitasnya terbentuk oleh interaksi antara bahan organik, mikroorganisme dan mineral tanah dan dipengaruhi banyak faktor antara lain bahan baku, proses pembuatan, dan sifat dasar

tanah. Secara umum bahan pembenah tanah lain yang termasuk bahan organik juga berpengaruh dalam meningkatkan kemantapan agregat. Bahan organik tanah berfungsi sebagai perekat (*cementing agent*) sehingga agregat tanah tidak mudah hancur oleh pukulan butiran air (Subagyo *et al.*, 2004).

Tabel 8. Hasil uji kemanfaatan biochar dan bahan pembenah tanah terhadap kemantapan agregat tanah berpasir

Kode Perlakuan	Rerata jumlah tetesan untuk menghancurkan agregat tanah (BST)						
	5	6	7	8	9	10	11
P0	8,11 a	9,22 a	10,56 a	10,56 a	12,67 a	10,56 a	10,11 a
P1	19,11 e	19,78 e	21,33 c	22,33 d	22,11 b	21,56 d	19,22 e
P2	15,67 bcd	17,56 cd	18,22 bc	20,22 bcd	20,00 b	19,33 cd	18,33 de
P3	17,11 cde	17,11 cd	17,89 bc	17,00 bc	19,00 b	16,33 bc	16,44 bcd
P4	13,33 b	14,22 b	13,67 ab	15,89 b	17,78 ab	16,11 bc	14,67 b
P5	15,22 bc	14,33 b	15,89 abc	16,22 bc	17,78 ab	15,67 bc	15,11 b
P6	15,22 bc	16,56 cd	16,00 abc	19,33 bcd	16,89 ab	15,33 b	15,89 bcd
P7	18,00 de	18,44 de	19,56 bc	21,00 bcd	19,67 b	19,33 cd	19,22 e
P8	15,67 bcd	16,89 bc	16,22 abc	21,22 cd	19,89 b	17,22 bc	17,56 cde
P9	16,89 cde	17,11 cd	18,22 bc	18,89 bcd	20,00 b	18,33 bc	17,78 cde
BNJ	2,475	2,056	7,237	5,194	5,791	3,107	2,362

Keterangan: Bilangan yang didampingi oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ 5%; (BST) Bulan Setelah Tanam; (tn) tidak nyata. Kode Perlakuan sama dengan Tabel 1

Ketahanan Penetrasi

Pengukuran ketahanan penetrasi dilakukan pada saat 7 BST dimana tanaman tebu mengalami puncak dari fase pertumbuhannya. Hasilnya ketahanan penetrasi pada semua perlakuan yang dicobakan pada tanah berpasir meningkat dibandingkan dengan kontrol (Tabel 9). Meningkatnya ketahanan penetrasi tersebut diduga disebabkan oleh terjadinya berat isi tanah berpasir sebagai pengaruh dari pemberian biochar dan bahan pembenah tanah pada saat pengukuran 7 BST sehingga tanah berpasir menjadi lebih kompak. Di sisi lain, semua nilai ketahanan penetrasi hasil penelitian di atas 2 Mpa yang berarti kondisi tanah membuat perakaran terganggu jika merujuk pada Taylor *et al.* (1966) yang pada umumnya ketahanan penetrasi tanah berkisar 2 Mpa dan

nilai yang melebihi 3 Mpa termasuk dalam kelas akar tanaman mulai terganggu.

Permeabilitas

Pemberian biochar dan bahan pembenah tanah pada tanah berpasir tidak berbeda nyata antar perlakuan (tabel 10). Pemberian biochar dan bahan pembenah tanah pada tahun pertama belum mampu dalam menurunkan laju permeabilitas pada tanah berpasir karena secara umum pemberian biochar dan bahan pembenah tanah belum mampu meningkatkan berat isi tanah berpasir untuk menjadi lebih padat sehingga tidak dapat menurunkan permeabilitas (Sudaryono, 2001). Semua hasil pengukuran permeabilitas yang dilakukan termasuk dalam kelas permeabilitas menurut Umland dan O'Neal (1951) sangat cepat karena memiliki laju permeabilitas lebih dari 25 cm jam⁻¹.

Tabel 9. Hasil uji kemanfaatan biochar dan bahan pembenah tanah terhadap ketahanan penetrasi, permeabilitas tanah, KTK, dan bahan organik tanah

Kode Perlakuan	Ketahanan penetrasi (MPa)	Permeabilitas (cm jam ⁻¹)	KTK (cmol.kg ⁻¹)	BOT (%)
P0	8,77 a	77,49	14,66	0,79
P1	10,62 ab	57,98	15,93	1,13
P2	11,35 ab	75,23	13,78	0,73
P3	13,40 b	41,77	16,83	0,86
P4	12,62 ab	90,26	16,29	1,05
P5	11,11 ab	66,49	13,96	0,86
P6	11,32 ab	59,30	17,24	1,39
P7	11,71 ab	63,43	15,01	1,08
P8	13,20 ab	72,17	15,94	1,19
P9	13,41 b	42,21	16,25	1,17
BNJ	4,509	tn	tn	tn

Keterangan: Bilangan yang didampingi oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ 5%; Kode Perlakuan sama dengan Tabel 1

Kapasitas Tukar Kation

Kapasitas tukar kation (KTK) merupakan sifat kimia tanah yang sangat berkaitan dengan tingkat kesuburan tanah. Pada umumnya, tanah berpasir dengan kandungan bahan organik rendah memiliki KTK tanah yang rendah. Pemberian biochar dan bahan pembenah tanah sebagai bentuk bahan organik bertujuan untuk meningkatkan KTK tanah berpasir. Biochar memiliki kapasitas tukar kation yang besar karena memiliki luas permukaan yang besar (Ulyett *et al.*, 2014) sehingga pemberiannya ke dalam tanah dapat merubah KTK tanah secara langsung, namun hasil penelitian menunjukkan tidak adanya pengaruh yang nyata terhadap peningkatan KTK tanah pada 7 BST (Tabel 9). Hal ini diduga disebabkan oleh perubahan kondisi tanah yang terjadi hanya berada pada sekitar partikel biochar saja dan perubahan kondisi dalam tanah secara massal kemungkinan masih kecil (Luo *et al.*, 2013).

Bahan Organik Tanah

Hasil analisis ragam menunjukkan pemberian bahan biochar dan bahan pembenah tanah tidak berpengaruh nyata (Tabel 9). Diduga, dosis total bahan pembenah tanah 10 t ha⁻¹ yang diberikan belum mampu meningkatkan kandungan bahan karbon organik tanah karena nilai kandungan bahan organik dalam tanah didapatkan dari perkalian 1,73 dengan nilai

kandungan karbon organik (C-organik). Biochar diproduksi melalui proses pembakaran yang minimum dengan tujuan untuk mempertahankan kandungan karbon organik yang dimiliki oleh bahan bakunya (Sika, 2012). Dalam penelitian ini biochar juga belum mampu meningkatkan kandungan bahan organik tanah karena proses dekomposisi biochar berlangsung dalam waktu yang lama (Gaunt dan Lehmann, 2008) sedangkan penelitian dilaksanakan pada tahun pertama pemberian (7 BST).

Pertumbuhan dan Produksi Tebu

Tinggi Tanaman

Pemberian biochar dan bahan pembenah tanah tidak memberikan pengaruh secara konsisten pada seluruh waktu pengamatan. Hanya pada pengamatan 6 BST berdasarkan analisis ragam berbeda sangat nyata antar perlakuan (Tabel 10). Perlakuan Abu ketel 5 t ha⁻¹ + blotong 5 t ha⁻¹ menjadi perlakuan terbaik untuk meningkatkan tinggi tanaman. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Kirana (2008) dosis kompos blotong 7,5 t ha⁻¹ sampai 10 t ha⁻¹ mampu meningkatkan tinggi tanaman tebu pada lahan kering. Blotong meningkatkan unsur N sejalan dengan abu ketel yang meningkatkan ketersediaan hara dalam tanah sehingga memicu pertumbuhan tanaman tebu (Marsono dan Sigit, 2001).

Tabel 10. Hasil uji kemanfaatan biochar dan bahan pembenah tanah terhadap tinggi tanaman tebu

Kode Perlakuan	Rerata (cm) tinggi tanaman tebu (BST)						
	5	6	7	8	9	10	11
P0	155,17	187,33 a	204,94	211,78	219,99	229,67	234,00
P1	161,17	190,50 ab	205,50	223,11	231,89	235,17	236,39
P2	164,17	197,50 ab	203,72	222,28	230,11	242,67	242,89
P3	155,33	187,17 a	206,67	227,94	227,94	234,83	236,11
P4	156,83	187,83 a	223,56	224,72	241,22	245,17	247,11
P5	162,17	193,50 ab	208,83	228,33	232,33	241,11	244,11
P6	152,00	181,17 a	201,17	213,67	214,00	231,17	231,17
P7	160,33	187,83 a	193,83	204,11	220,17	221,00	223,61
P8	159,50	189,50 ab	207,50	228,61	235,18	240,44	243,11
P9	166,83	208,17 b	222,43	238,54	238,78	246,06	246,06
BNJ	tn	19,439	tn	tn	tn	tn	tn

Keterangan: Bilangan yang didampingi oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ 5%; Kode Perlakuan sama dengan Tabel 1

Hal ini disebabkan oleh jumlah ruas yang merupakan parameter pertumbuhan dipengaruhi oleh kondisi tanah tempat dimana tanaman tumbuh, sedangkan secara keseluruhan semua perlakuan yang dicobakan tidak secara konsisten memperbaiki kondisi tanah menjadi lebih baik daripada pada perlakuan kontrol. Menurut Muhammad dan

Khattak (2009) pertumbuhan tanaman sangat bergantung pada kondisi tanah dan airnya.

Jumlah ruas

Pemberian biochar dan bahan pembenah tanah tidak memberikan pengaruh yang nyata pada 5-11 BST (Tabel 11).

Tabel 11. Hasil uji kemanfaatan biochar dan bahan pembenah tanah terhadap jumlah ruas tebu

Kode Perlakuan	Rerata jumlah ruas tebu (BST)						
	5	6	7	8	9	10	11
P0	13,67	13,83	14,17	16,83	17,00	20,33	20,22
P1	13,00	13,50	14,17	14,50	16,11	20,00	20,11
P2	13,83	14,67	15,00	15,83	16,33	20,50	20,61
P3	13,50	14,83	15,67	16,00	17,67	19,44	19,50
P4	13,50	14,50	14,83	16,67	16,83	20,00	20,17
P5	13,83	15,17	15,50	15,83	16,50	19,00	19,11
P6	13,17	14,33	14,67	15,67	15,83	19,83	20,22
P7	14,00	15,00	16,00	16,17	16,83	18,94	19,00
P8	13,33	15,50	15,50	16,17	16,33	20,11	20,17
P9	14,17	14,67	15,00	16,00	16,00	21,06	20,89
BNJ	tn	tn	tn	tn	tn	tn	tn

Keterangan : (tn) tidak nyata. Kode Perlakuan sama dengan Tabel 1

Diameter batang

Pemberian biochar dan bahan pembenah tanah tidak memberikan pengaruh yang konsisten

terhadap diameter batang pada pengamatan 5-11 BST (Tabel 12). Hanya memberikan pengaruh yang berbeda nyata pada 9 dan 10 BST. Perlakuan terbaik yang meningkatkan diameter

batang adalah pada perlakuan kombinasi abu ketel 5 t ha⁻¹ + kompos serasah tebu 5 t ha⁻¹ (P8). Dikombinasikannya abu dengan kompos yang dapat meningkatkan mineralisasi N-

organik dalam tanah dan melepaskan N dalam jumlah yang tinggi (Abbasi *et al.*, 2012) memicu pertumbuhan tanaman termasuk salah satunya tampak pada meningkatnya diameter batang.

Tabel 12. Hasil uji kemanfaatan biochar dan bahan pembenah tanah terhadap diameter batang tebu

Kode Perlakuan	Rerata diameter batang tebu (mm)						
	(BST)						
	5	6	7	8	9	10	11
P0	22,86	23,60	24,41	24,80	25,07 ab	25,61 ab	26,75
P1	23,93	24,61	24,74	25,22	25,55 ab	25,72 ab	26,12
P2	24,08	24,36	24,49	24,57	24,72 ab	25,08 ab	25,91
P3	24,06	24,35	24,50	24,80	25,06 ab	25,95 ab	26,65
P4	23,49	23,77	24,04	24,34	24,56 a	24,71 a	25,48
P5	23,43	24,30	24,74	24,77	24,84 ab	25,18 ab	25,57
P6	22,76	23,92	24,10	24,23	24,66 ab	24,98 ab	26,08
P7	23,25	23,58	23,83	24,17	24,61 a	24,85 a	25,41
P8	23,89	25,02	25,40	25,74	26,23 b	26,40 b	27,44
P9	23,64	23,79	24,05	25,07	25,28 ab	25,78 ab	26,50
BNJ	tn	tn	tn	tn	tn	tn	tn

Keterangan: Bilangan yang didampingi oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ 5%; Kode Perlakuan sama dengan Tabel 1

Jumlah anakan

Pemberian biochar dan bahan pembenah tanah tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap jumlah anakan pada 5-11 BST (Tabel 13). Hasil tersebut dipengaruhi oleh pemberian biochar dan bahan pembenah tanah yang secara umum belum mampu memperbaiki sifat

tanah yang berhubungan dengan ketersediaan hara dalam tanah yang mempengaruhi pertumbuhan anakan tebu. Unsur hara N sangat berperan dalam pembentukan sel dan pertumbuhan tebu secara horisontal yaitu pembentukan anakan.

Tabel 13. Hasil uji kemanfaatan biochar dan bahan pembenah tanah terhadap jumlah anakan tebu

Kode Perlakuan	Rerata jumlah anakan tebu						
	(BST)						
	5	6	7	8	9	10	11
P0	13,17	12,50	11,50	14,17	16,00	17,00	18,50
P1	12,00	11,67	9,83	12,83	16,83	15,50	16,83
P2	11,67	11,33	11,00	15,17	17,50	17,33	17,33
P3	14,33	13,00	12,00	15,83	16,67	18,00	20,00
P4	13,83	13,17	11,50	14,17	18,00	16,00	18,00
P5	13,33	12,50	11,00	15,17	17,50	17,17	18,50
P6	14,50	12,67	11,67	15,83	17,17	18,17	19,33
P7	14,17	13,17	11,50	13,17	17,17	16,50	17,67
P8	13,67	12,33	10,67	13,17	17,17	15,83	18,17
P9	13,17	12,67	11,17	14,17	16,67	18,00	19,67
BNJ	tn	tn	tn	tn	tn	tn	tn

Keterangan : (tn) tidak nyata. Kode Perlakuan sama dengan Tabel 1

Total Panjang Akar dan Berat Kering Akar

Hasil uji kemanfaatan biochar dan bahan pembenah tanah untuk perbaikan sistem perakaran yang ditinjau dari total panjang akar per volume (Lrv) dan berat kering akar per volume (Drv) disajikan pada Tabel 14. Perbaikan yang dimaksud adalah apabila nilai Lrv dan Drv semakin tinggi. Pemberian biochar

dan bahan pembenah tanah justru menghasilkan total panjang akar yang lebih rendah daripada kontrol diduga biochar dan bahan pembenah tanah mempengaruhi struktur tanah menjadi lebih kompak yang kemungkinan juga dapat menghambat pertumbuhan akar (Sika, 2012).

Tabel 14. Hasil uji kemanfaatan biochar dan bahan pembenah tanah terhadap Lrv, Drv, berat basah batang produksi dan rendemen potensial tebu

Kode Perlakuan	Lrv (cm cm ⁻³)	Drv (g cm ⁻³)	Berat basah (kg pot ⁻¹)	Rendemen Potensial (%)
P0	3,52 ab	0,0076	19,55	10,04
P1	2,82 ab	0,0038	16,69	10,10
P2	2,21 a	0,0035	17,61	10,24
P3	4,60 b	0,0069	20,24	9,81
P4	2,88 ab	0,0064	19,05	10,12
P5	2,47 ab	0,0043	18,17	9,80
P6	3,65 ab	0,0053	18,39	10,23
P7	2,98 ab	0,0065	17,37	9,93
P8	3,38 ab	0,0063	19,73	10,19
P9	2,26 a	0,0050	19,87	10,00
BNJ	0,634	tn	tn	tn

Keterangan: Bilangan yang didampingi oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ 5%; Kode Perlakuan sama dengan Tabel 1

Pemberian biochar dan bahan pembenah tanah tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap Drv. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Nurhayati *et al.* (2014) yang menyatakan pemberian berbagai macam jenis bahan pembenah tanah berpengaruh tidak nyata terhadap berat kering akar.

Produksi Tebu

Pemberian biochar dan bahan pembenah tanah tidak memberikan pengaruh yang nyata pada pada dua parameter produksi yaitu berat basah batang produksi dan rendemen potensial tebu (Tabel 14). Diduga tidak adanya pengaruh yang nyata terhadap produksi tebu disebabkan oleh pemberian biochar dan bahan pembenah tanah tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah anakan tebu, sedangkan produktivitas tebu per satuan lahan ditentukan oleh kemampuan tebu dalam membentuk anakan (Rokhman *et al.*, 2014). Rendemen potensial tebu yang juga tidak berbeda nyata antar perlakuan disebabkan

oleh parameter-parameter pendukung produksi tebu (sifat fisik dan pertumbuhan tanaman) tidak secara nyata dapat ditingkatkan oleh pemberian biochar dan bahan pembenah tanah pada tanah berpasir. Selain itu juga tebu yang ditanam sebagai obyek penelitian berasal dari varietas yang sama. Nilai rendemen potensial tebu didapatkan melalui perhitungan %brix nira dalam suatu persamaan, sedangkan menurut Kuspratomo *et al.* (2012) varietas tebu berpengaruh secara nyata terhadap %brix.

Kesimpulan

Biochar serasah tebu dan bahan pembenah tanah bermanfaat pada perbaikan sifat fisik tanah berpasir khususnya meningkatkan kemantapan agregat secara konsisten pada seluruh waktu pengamatan. Biochar serasah tebu menjadi perlakuan terbaik dalam meningkatkan kemantapan agregat dibandingkan dengan perlakuan bahan

pembenah tanah lain, tetapi belum mampu secara nyata memperbaiki sifat-sifat fisik tanah yang lain. Sifat fisik tanah tidak berhubungan erat dengan pertumbuhan dan produksi tebu karena banyak faktor lain selain sifat fisik tanah yang ikut berperan dalam memberikan pengaruh. Dengan demikian pemberian biochar dan bahan pembenah tanah untuk perbaikan beberapa sifat fisik tanah belum berdampak pada peningkatan pertumbuhan dan produksi tebu pada tanah berpasir sampai 11 bulan setelah tanam.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih kepada Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat (BALITTAS) atas bantuan penelitian dan ijinnya untuk ikut terlibat dalam kegiatan-kegiatan selama proses berlangsungnya penelitian. Serta kepada seluruh pihak yang telah mendukung terselenggaranya penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Abbasi, K.M., Afsar, N. and Rahim, N. 2012. Effect of wood ash and compost application on nitrogen transformations and availability in soil-plant systems. *Soil Science Society of America Journal* 11 (2), 558-567.
- Akbar, A. dan Priyanto, E. 2008. Dampak pembakaran terkendali pada ladang terhadap produktifitas lahan di rawa gambut. dalam Udiansyah et al. (Eds.). *Prosiding Seminar Optimasi Tata Kelola Kehutanan untuk Mendukung Rehabilitasi Hutan Rawa Gambut*. Balai Penelitian Kehutanan Banjarbaru, Palangkaraya, 30 Oktober 2008 hal 131-150.
- Brodowski, S., B. John, H. Flessa and W. Amelung, 2006. Aggregate-Occcluded Black Carbon in Soil. *European Journal of Soil Science* 57 : 539-546.
- Elsayed, M.T., Babiker, M.H., Abdelmalik, M.E., Mukhtar, O.N. and Montange, D. 2008. Impact of filter mud applications on the germination of sugarcane and small-seeded plants and on soil and sugarcane nitrogen contents. *Bioresource Technology* 99, 4146-4168.
- Gaunt, J.L. and Lehmann, J. 2008. Energy balance and emissions associated with biochar sequestration and pyrolysis bioenergy production. *Environmental Science and Technology* 42, 4152-4158.
- Goenadi, S. 1993. Usaha Konservasi Lengan Tanah dan Watak Lengan Tanah pada Budidaya Usaha Tebu Lahan Kering dalam Lokakarya Nasional Pembangunan Daerah dalam Rangka Pengelolaan Usahatani Lahan Kering dan Perbukita Kritis. Jakarta.
- Irianto, G. 2003. Tebu Lahan Kering dan Kemandirian Gula Nasional. *Tabloid Sinar Tani* 20 Agustus 2003.
- Juo, A.S.R. and Franzluebbers, K. 2003. *Tropical Soils*. Oxford University Press. New York.
- Kirana, K. 2008. Penentuan Dosis Pemupukan Kompos Blotong pada Tebu lahan Kering (*Saccharum officinarum* L.) varietas PS 862 dan PS 864. Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Kuspratomo, A.D., Burhan., dan Fakhry, M. 2012. Pengaruh varietas tebu, potongan dan penundaan giling terhadap kualitas nira tebu. *Agrointek* 6 (2), 123-132.
- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Sohi, S., Thies, J.E., Skjemstad, J.O., Luizão, F.J., Engelhard, M.H., Neves, E.G., and Wirick, S. 2008. Stability of biomass-derived black carbon in soils. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 72, 6069-6078.
- Liu, X.H., Hhan, F.P., and Zhang, X.C. 2012. Effect of biochar soil aggregates in the loess plateau: result from incubation experiments. *International Journal of Agriculture and Biology* 14 (6) : 975-979.
- Luo, Y., Durenkamp, M., De Nobili, M., Lin, Q., Devonshire, B.J. dan Brookes, P.C. 2013. Microbial biomass growth, following incorporation of biochars produced at 350°C, in a silty-clay loam soil of high and low pH. *Soil Biology and Biochemistry* 57 : 513-523.
- Marsono dan Sigit, P. 2001. *Pupuk Akar*. Redaksi Agromedia. Jakarta.
- Melo, L.C.A., Coscione, A.R., Abreu, C.A., Puga, A. P. and Camargo, O.A. 2013. Influence of pyrolysis temperature on cadmium and zinc sorption capacity of sugar cane straw-derived biochar. *BioResources* 8 (4), 4992-5004.
- Mowidu, I. 2001. Peranan Bahan Organik dan Lempung terhadap Agregasi dan Agihan Ukuran Pori pada Entisol. Tesis Pasca Sarjana. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Muhammad, D. and Khattak, R.A. 2009. Growth and nutrient concentrations of maize in pressmud treated saline-sodic soils. *Soil and Environment* 28 (2) : 145-155.
- Muhsin, A. 2011. Pemanfaatan Limbah Hasil Pengolahan Pabrik Tebu Blotong menjadi Pupuk Organik. Universitas Pembangunan Nasional Veteran. Yogyakarta.
- Nichols, M. 2008. *Biochar Could Reduce Fertiliser Levels and Leaching*. Orchardist. New Zealand.
- Nurhayati, Razali, dan Zuraida. 2014. Peranan berbagai jenis bahan pembenah tanah terhadap status hara p dan perkembangan akar kedelai

- pada tanah gambut asal Ajamu Sumatera Utara. *Jurnal Floratek* 9, 29-38.
- Rajiman. 2014. Pengaruh Bahan Pembenah Tanah di Lahan Pasir Pantai terhadap Kualitas Tanah. *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal 2014*. Palembang 26-27 September 2014. p 23-1 – 23-8.
- Rawls, W.J., Pachepsky, Y.A., Ritchie, J.C., Sobecki T.M., and Bloodworth, H. 2003. Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma* 116, 61-67.
- Rokhman, H., Taryono. dan Supriyanta. 2014. Jumlah anakan dan rendemen enam klon tebu (*Saccharum officinarum* L.) asal bibit bagal, mata ruas tunggal, dan mata tunas tunggal. *Vegetalika* 3 (3), 89-96.
- Santi, L.P. dan Goenadi, D.H. 2010. Pemanfaatan biochar sebagai pembawa mikroba untuk pementap agregat tanah Ultisol dari Taman Bogo-Lampung. *Menara Perkebunan* 78 (2), 52-60.
- Setyorini, D., Saraswati, R. dan Anwar, E. K. 2006. *Kompos dalam Pupuk Organik dan Pupuk Hayati*. Balittanah. Bogor
- Shofy, M. 2008. Pengaruh Pemberian Amelioran Tanah terhadap Sifat Kimia dan Pertumbuhan dan Dua Varietas Tebu (*Saccharum officinarum* L.). Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Sika, M. P. 2012. Effect of Biochar on Chemistry, Nutrient Uptake and Fertilizer Mobility in Sandy Soil. (Thesis). University of Stellenbosch.
- Sinulingga, M. dan Darmanti, S. 2008. Kemampuan Mengikat Air oleh Tanah Pasir yang Diperlukan dengan Tepung Rumput Laut *Gracilaria Verrucosa*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Stevenson, F.J. 1982. Clay organic complexes and formation of stable aggregates. In: Stevenson (ed.) *Humus Chemistry (Genesis, Composition, Reaction)*. John Wiley and Sons. Inc., New York.
- Subagyono, K., Haryati, U., da Tala'ohu S.H. 2004. Teknologi Konservasi Air pada Pertanian Lahan Kering dalam Teknologi Konservasi Tanah pada Lahan Kering Berlereng. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian. Bogor.
- Sudaryono. 2001. Pengaruh pemberian bahan pengkondisi tanah terhadap sifat fisik dan kimia tanah pada lahan marginal berpasir. *Jurnal Teknologi Lingkungan* 2 (1), 106-112.
- Taylor, H.M., Roberson, G.M. and Parker Jr., J.J. 1966. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. *Soil Science* 102, 18-22.
- Uhland, R.E. and O'Neal, A.M. 1951. Soil Permeability Determination for Use in Soil and Water Conservation. SCS-TP-101. United States of Agriculture, Soil Conservation Service, Washington D.C.
- Ulyett, J., Sakrabani, R., Kibblewhite, M. and Hann, M. 2014. Impact of biochar addition on water retention, nitrification and carbon dioxide evolution from two sandy loam soils. *European Journal of Soil Science* 65, 96-104.
- Xu, G., Wei, L.L., Sun, J.N., Shao, H.B. and Chang, S.X. 2013. What is more important for enhancing nutrient bioavailability with biochar application into a sandy soil: Direct or indirect mechanism?. *Ecological Engineering* 52 : 119-124.
- Yuwono, N.W. 2009. Membangun kesuburan tanah di lahan marginal. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan* 9 (2), 137-141.
- Zeelie, A. 2012. Effect of Biochar on Selected Soil Physical Properties of Sandy Soil with Low Agricultural Suitability. Departmen of Soil Science Stellenbosch University.

halaman ini sengaja dikosongkan