

Jurnal
**TANAMAN INDUSTRI
DAN PENYEGAR**
Journal of Industrial and Beverage Crops
Volume 4, Nomor 2, Juli 2017

**PENGARUH PUPUK ORGANIK DAN ARANG HAYATI TERHADAP KUALITAS
MEDIA PEMBIBITAN DAN PERTUMBUHAN BIBIT KAKAO**

*EFFECT OF ORGANIC FERTILIZER AND BIOCHAR ON
SEEDLING MEDIA QUALITY AND GROWTH OF CACAO SEEDLING*

* Kurnia Dewi Sasmita¹⁾, Iswandi Anas²⁾, Syaiful Anwar²⁾, Sudirman Yahya³⁾, dan Gunawan Djajakirana²⁾

Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar¹⁾

Jalan Raya Pakuwon Km 2 Parungkuda, Sukabumi 43357 Indonesia

*kdsasmita79@yahoo.com

Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB²⁾

Jalan Meranti, Kampus IPB, Dramaga, Bogor 16680 Indonesia

Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, IPB³⁾

Jalan Meranti, Kampus IPB, Dramaga, Bogor 16680 Indonesia

(Tanggal diterima: 14 April 2017, direvisi: 9 Mei 2017, disetujui terbit: 4 Juli 2017)

ABSTRAK

Pemanfaatan tanah masam Ultisol untuk media pembibitan kakao dihadapkan pada kendala rendahnya tingkat kesuburan. Oleh karena itu, perlu penambahan amelioran agar kualitas kimia, fisika, dan biologi tanah menjadi lebih baik. Tujuan penelitian adalah mengkaji pengaruh pupuk organik kulit buah kakao dan arang hayati terhadap sifat kimia dan biologi tanah media pembibitan dan dampaknya terhadap pertumbuhan bibit kakao. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Bioteknologi Tanah dan Laboratorium Kesuburan Tanah, Institut Pertanian Bogor dan Kebun Percobaan Pakuwon, Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar (Balittri), Sukabumi, mulai Juni 2014 sampai Februari 2015. Rancangan yang digunakan adalah acak lengkap (RAL) dengan susunan perlakuan faktorial tiga faktor yang diulang tiga kali. Faktor pertama adalah pemberian pupuk organik (tanpa pupuk organik dan dengan pupuk organik 10%). Faktor kedua adalah jenis arang hayati (sekam padi dan kayu sengon). Faktor ketiga adalah dosis arang hayati (0%, 1%, 2%, 4%, dan 6% dari bobot media pembibitan). Pengamatan dilakukan terhadap sifat kimia dan biologi media pembibitan, serta pertumbuhan bibit kakao. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian pupuk organik atau arang kayu sengon nyata meningkatkan C-organik dan nisbah C/N. Peningkatan dosis arang hayati atau pemberian pupuk organik dapat meningkatkan pH, N total, dan respirasi mikroba, sedangkan tanpa pupuk organik dapat meningkatkan populasi jamur, tetapi tidak dapat meningkatkan bobot kering bibit. Kombinasi arang hayati dan pupuk organik memperbesar diameter batang dan bobot kering tajuk bibit kakao.

Kata kunci: Bibit kakao, kayu sengon, populasi mikroba, sekam padi

ABSTRACT

Using acid soil as a cacao seedling medium limits the seedling growth due to low fertility, thus necessitating soil ameliorant treatment to improve its chemical, physical, and biological quality. This study aimed to investigate the effect of cacao husks as organic fertilizer and biochar on chemical and biological properties of seedling media and cacao seedling growth, was conducted in Soil Biotechnology Laboratory and Soil Fertility Laboratory, Bogor Agricultural University and Pakuwon Experimental Station at Indonesian Industrial and Beverage Crops Research Institute (IIBCRI), Sukabumi, from June 2014 until February 2015. Completely randomized design (CRD) was used in the factorial treatment with three factors: (1) organic fertilizer treatment (without organic fertilizer and with organic fertilizer 10% of the weight of seedling media), (2) the types of biochar (rice

husk and white albizia wood), and (3) the doses of biochar (0%, 1%, 2%, 4%, 6% of the weight of seedling media), with three replications respectively. Observation was on chemical and biological properties of the soil and seedling growth. The results showed that organic fertilizer or albizia wood biochar application significantly improved C-organic and C/N ratio. Increasing the dose of biochar or organic fertilizer application raised the pH, total N, and microbes respiration, whereas without organic fertilizer was linearly able to improve total population of microbes but not the dry weight of cacao seedling. The combination of biochar and organic fertilizers increased the stem diameter and dry weight of cacao seedling.

Keywords: Cacao seedling, population of microbes, rice husk, white albizia wood

PENDAHULUAN

Pemanfaatan lahan kering masam untuk budi daya tanaman dihadapkan pada masalah kesuburan tanah, seperti pH rendah, kejenuhan basa rendah, kadar C-organik rendah, kejenuhan aluminium tinggi, tingkat fiksasi P tinggi, dan aktivitas mikrob rendah (Mulyani *et al.*, 2009). Pengembangan kakao di tanah masam memerlukan penambahan amelioran (pembenah tanah), dapat berupa bahan organik untuk memperbaiki sifat tanah, mulai dari tanah di tingkat pembibitan sampai tingkat penanaman di lapangan. Sebagai media pembibitan, sifat tanah masam perlu diperbaiki agar bibit dapat tumbuh dengan lebih baik, sehingga berdampak positif bagi pertumbuhan dan produksi tanaman di tingkat lapangan. Penggunaan pupuk organik dari sumber daya *in situ*, seperti limbah kulit kakao, telah banyak diaplikasikan di perkebunan kakao. Baharudin & Rubiyono (2013) mengemukakan bahwa media pembibitan yang terdiri dari tanah, pasir, dan kompos kulit kakao dengan perbandingan 2:1:1 dapat menghasilkan pertumbuhan dan serapan hara bibit kakao yang lebih baik.

Bahan pembenah tanah masam lainnya yang cukup potensial adalah arang hayati (*biochar*), yaitu materi kaya karbon yang diperoleh melalui proses pembakaran biomassa dalam kondisi rendah atau tanpa oksigen (*pyrolysis*). Pemanfaatan arang hayati untuk meningkatkan kualitas tanah telah banyak diteliti. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pengaruh arang hayati terhadap sifat kimia, fisika, dan biologi tanah sangat tergantung pada jenis dan jumlah arang hayati, jenis tanah, dan input-input lainnya yang ditambahkan (Glaser, Lehmann, & Zech, 2002; Yamato, Okimori, Wibowo, Anshori, & Ogawa, 2006; Kolb, Fermanich, & Dornbush, 2009; Asai *et al.*, 2009; Albuquerque *et al.*, 2014).

Pencampuran arang hayati pada tanah masam dapat memperbaiki sifat kimia tanah, seperti meningkatkan pH tanah, kapasitas tukar kation, kejenuhan basa, P tersedia, serta dapat menurunkan Al^{3+} (Yamato *et al.*, 2006). Penggunaan arang hayati juga dapat memperbaiki sifat fisik tanah, seperti perbaikan struktur, peningkatan porositas, penurunan bobot volume, peningkatan aerasi, dan kemampuan menyimpan air (Atkinson, Fitzgerald, & Hipps, 2010;

Lehmann *et al.*, 2011; Albuquerque *et al.*, 2014). Di sisi lain, peran arang hayati terhadap sifat biologi tanah masih menjadi kajian yang menarik. Hal ini mengingat sifat biologi tanah sering diabaikan dan belum sepenuhnya dipertimbangkan sebagai kriteria kualitas media pembibitan karena pengaruhnya yang tidak langsung terhadap pertumbuhan tanaman (Subowo, 2010). Namun demikian, arang hayati berpotensi dalam memengaruhi proses biokimia serta fungsi, kelimpahan, komposisi, dan aktivitas mikrob di dalam tanah (Thies & Rillig, 2009; Anderson *et al.*, 2011; Lehmann *et al.*, 2011), bahkan dapat menjadi habitat yang disukai dan melindunginya dari serangan predator (Lehmann *et al.*, 2011). Dikemukakan juga bahwa arang hayati mampu meningkatkan aktivitas mikrob untuk proses mineralisasi serta melarutkan P anorganik sehingga penyerapan hara P dan produktivitas tanaman meningkat (Siddiqui *et al.*, 2016). Berbeda halnya dengan pupuk organik, arang hayati didominasi oleh struktur karbon aromatik yang menjadikannya stabil dan sangat resisten terhadap degradasi kimia dan biologi di dalam tanah (Atkinson *et al.*, 2010). Namun demikian, arang hayati masih mengandung fraksi labil yang dapat termineralisasi oleh mikrob.

Sampai saat ini, kajian tentang aplikasi arang hayati pada tanah masam untuk lahan perkebunan kakao relatif masih terbatas. Penelitian bertujuan mengetahui pengaruh pupuk organik kulit kakao dan arang hayati terhadap sifat kimia dan biologi tanah masam sebagai media pembibitan dan dampaknya terhadap pertumbuhan bibit kakao.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Bioteknologi Tanah dan Laboratorium Kesuburan Tanah, Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Kegiatan inkubasi media pembibitan dan penanaman bibit kakao dilakukan di rumah paranet Kebun Percobaan Pakuwon, Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar (Balittri), Sukabumi, mulai bulan Juni 2014 sampai dengan Februari 2015.

Penyiapan Media Pembibitan

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah tanah Ultisol (*Typic Hapludults*) lapisan atas (*top soil*) yang diperoleh dari Kecamatan Jasinga, Kabupaten Bogor, dengan karakteristik seperti yang ditampilkan pada Tabel 1. Penilaian hasil analisis tanah didasarkan pada kriteria yang ditetapkan oleh Pusat Penelitian Tanah (1983) *cited in* Sulaeman, Suparto, & Eviati (2005).

Pupuk organik yang digunakan berupa campuran limbah kulit kakao dan kotoran sapi dengan perbandingan 2:1, sedangkan arang hayati berbahan baku sekam padi dan kayu sengon. Sifat kimia pupuk organik dan arang hayati yang dimaksud disajikan pada Tabel 2.

Tanah untuk media pembibitan terlebih dahulu dibersihkan, dikeringanginkan, dan kemudian diayak menggunakan ayakan lolos 2 mm. Selanjutnya, dilakukan penetapan kadar air tanah, pupuk organik, dan arang hayati untuk mendapatkan bobot masing-masing bahan sesuai dosis perlakuan dengan total media yang setara dengan 2,2 bobot kering mutlak (BKM). Tanah dan amelioran kemudian dicampur merata dan dimasukkan ke dalam polybag warna hitam berukuran 20 cm x 30 cm. Media tersebut diinkubasi selama 15 hari sebelum digunakan untuk pengujian pertumbuhan bibit kakao. Kondisi air dalam media pembibitan selama inkubasi dijaga pada kapasitas lapang dengan cara melakukan penyiraman air setiap 2 hari sekali sampai air mengalir keluar dari lubang polybag.

Tabel 1. Karakteristik tanah Ultisol dari Jasinga, Bogor
Table 1. Characteristics of Ultisol soil from Jasinga, Bogor

Parameter	Nilai	Kriteria
pH H ₂ O (1:5)	3,90	Sangat masam
pH KCl (1:5)	3,49	Sangat masam
C-organik (%)	1,60	Rendah
N total (%)	0,26	Sedang
P tersedia (mg P kg ⁻¹)	1,77	Sangat rendah
K-dd (cmol(+) kg ⁻¹)	0,27	Rendah
Ca-dd (cmol(+) kg ⁻¹)	1,62	Sangat rendah
Mg-dd (cmol(+) kg ⁻¹)	1,68	Sedang
KTK (cmol(+) kg ⁻¹)	26,36	Tinggi
Al-dd (cmol(+) kg ⁻¹)	19,82	Sangat tinggi

Tabel 2. Sifat kimia pupuk organik, arang sekam padi, dan kayu sengon
Table 2. Chemical properties of organic fertilizer, rice husk, and albizia wood biochar

Parameter	Pupuk organik	Arang sekam padi	Arang kayu sengon
Kadar air (%)	24,33	7,53	13,93
pH H ₂ O (1:5)	8,50	7,00	7,90
N total (%)	1,87	0,83	0,73
C total (%)	38,73	40,24	92,34
Nisbah C/N	20,7	48,5	126,5
P total (%)	0,57	0,15	0,10
K total (%)	4,62	0,48	0,77
Ca total (%)	1,03	0,17	0,60
Mg total (%)	0,97	0,13	0,16
Na total (%)	1,43	0,14	0,25
Fe total (%)	1,52	0,44	0,51
Cu total (ppm)	32,95	14,35	9,15
Zn total (ppm)	180,02	243,71	297,99
Mn total (ppm)	961,43	377,70	121,19
Bahan volatil (%)	NA	31,00	71,81

Keterangan: NA = tidak dianalisis

Notes: NA = not analyzed

Tabel 3. Pengaruh pupuk organik, jenis dan dosis arang hayati terhadap pH H₂O dan N total media pembibitan
Table 3. The effect of organic fertilizer, type and dose of biochar on pH H₂O and total N of the seedling media

Perlakuan	pH H ₂ O	N total (%)
Pupuk organik:		
Tanpa pupuk organik	4,10 b	0,27 b
Pupuk organik 10%	4,63 a	0,37 a
Jenis arang hayati:		
Arang sekam padi	4,33 a	0,32 a
Arang kayu sengon	4,39 a	0,32 a
Dosis arang hayati:		
Arang hayati 0%	4,20 c	0,30 b
Arang hayati 1%	4,23 c	0,32 b
Arang hayati 2%	4,35 b	0,32 b
Arang hayati 4%	4,42 b	0,35 a
Arang hayati 6%	4,62 a	0,33 ab

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom dan faktor perlakuan yang sama tidak berbeda nyata menurut uji BNT pada taraf 5%

Notes : Numbers followed by the same letters in the same column and treatment factor are not significantly different according to LSD's test at 5% levels

Uji Sifat Kimia dan Biologi Media Pembibitan

Sampel media pembibitan yang telah diinkubasi diambil untuk analisis pH H₂O (1:5), kandungan N total (metode Kjeldhal), dan C-organik (metode Walkley and Black). Analisis pH, C-organik, dan N total menggunakan sampel yang telah dikeringanginkan, dihaluskan dan diayak dengan ayakan lolos 0,5 mm dan 2 mm. Sampel media pembibitan segar (lembap) digunakan untuk mengamati populasi total mikrob, mikrob pelarut fosfat (MPF), dan total jamur, serta respirasi mikrob.

Perhitungan populasi mikrob menggunakan metode cawan hitung (*plate count*) dengan media *nutrient agar* (NA), media *Pikovskaya* dengan Ca₃(PO₄)₂ sebagai sumber P untuk populasi MPF, dan media *Martin's rose bengal agar* untuk populasi jamur. Pengukuran respirasi media pembibitan menggunakan metode yang dikembangkan oleh Verstraete (1981) cited in Anas (1989).

Uji Pengaruh Perlakuan terhadap Pertumbuhan Bibit Kakao

Setelah masa inkubasi media pembibitan selesai, selanjutnya pada media pembibitan diberikan pupuk dasar Urea sebanyak 2 g N, SP-36 sebanyak 2 g P₂O₅, dan KCl sebanyak 2 g K₂O per polybag (Pusat Penelitian Kopi dan Kakao, 2004). Kecambah kakao ditanam ke dalam polybag yang telah diberi media pembibitan sesuai perlakuan. Selanjutnya, dilakukan penyiraman tanaman setiap dua hari sekali untuk menjaga kondisi kadar air pada kapasitas lapang selama 20 minggu setelah tanam (MST). Setelah 20 MST, dilakukan pengamatan terhadap pertumbuhan bibit (tinggi bibit, diameter batang, dan jumlah daun) dan

bobot kering tajuk serta akar bibit (setelah dikeringkan dalam oven 65°C; 48 jam).

Rancangan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan rancangan acak lengkap (RAL) dalam susunan perlakuan faktorial 3 faktor dengan 3 ulangan, dan setiap unit percobaan terdiri atas 3 bibit (polybag). Sebagai faktor pertama adalah pemberian pupuk organik yang terdiri dari 2 perlakuan, yaitu tanpa pupuk organik (PO) dan dengan pupuk organik 10% BKM media pembibitan (PO 10%). Faktor kedua adalah arang hayati yang terdiri dari 2 jenis, yaitu arang sekam padi dan arang kayu sengon. Selanjutnya faktor ketiga adalah dosis arang hayati yang terdiri dari 5 taraf, yaitu tanpa arang hayati (0%), serta 1%, 2%, 4%, dan 6% arang hayati dari bobot kering total media pembibitan yaitu 2,2 kg BKM.

Analisis Data

Data yang terkumpul dianalisis ragam (Anova) menggunakan program SAS versi 9.1.3., dan apabila hasilnya nyata dilanjutkan dengan uji beda nyata terkecil (BNT) pada taraf 5%. Pengaruh dosis arang hayati terhadap sifat media pembibitan diuji dengan kontras polinomial.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Kimia dan Biologi Media Pembibitan

a. pH H₂O dan N total

Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa tidak ada interaksi antara ketiga faktor yang diuji terhadap pH H₂O dan N total (Tabel 3). Pemberian pupuk organik 10% nyata meningkatkan pH H₂O

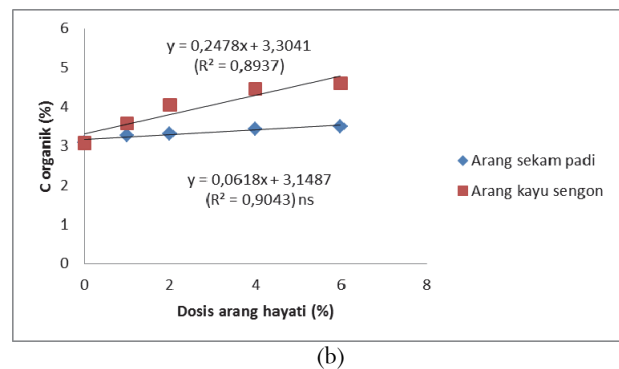
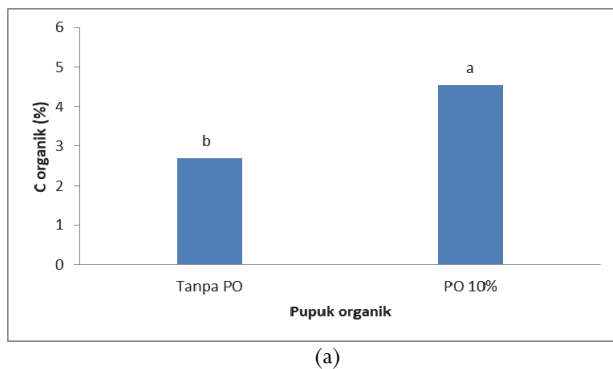
sebesar 0,53 unit dan N total sebesar 37,04% dibandingkan dengan tanpa pupuk organik. Jenis arang hayati juga tidak memperlihatkan pengaruh yang nyata. Semakin tinggi dosis arang hayati yang diberikan, pH H₂O media semakin meningkat. Pemberian arang hayati dengan dosis 4% nyata dapat meningkatkan N total sebesar 16,67% dibandingkan dengan tanpa arang hayati (Tabel 3). Hal yang sama juga dilaporkan oleh Laird *et al.* (2010) bahwa pemberian arang hayati dapat meningkatkan N total tanah secara nyata. Namun demikian, suplai N dari arang hayati masih lebih rendah (0,83% dan 0,73%) daripada pupuk organik (1,87%) (Tabel 2) karena pada proses pembuatannya terjadi kehilangan N cukup besar selama proses pirolisis. Granatstein, Kruger, Collins, Garcia-Perez, & Yoder (2009) juga mengemukakan bahwa penambahan arang hayati ke dalam tanah dapat meningkatkan *pool C* dan N, tetapi hanya sedikit saja N dari arang hayati yang tersedia bagi tanaman karena banyak tersimpan dalam matrik karbon.

Peningkatan pH karena pemberian bahan organik terjadi melalui beberapa mekanisme, di antaranya: (1) pelepasan OH⁻ pada proses oksidasi anion asam organik, (2) konsumsi proton selama dekarboksilasi anion asam organik, (3) pelepasan ion

OH⁻ selama mineralisasi N organik, (4) pelepasan OH⁻ akibat adsorpsi spesifik dari bahan humat dan/atau molekul organik ke dalam hidroksida Al dan Fe, dan (5) adanya peningkatan kandungan kation basa [kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan kalium (K)] dari pupuk organik yang ditambahkan (Haynes & Mokolobate, 2001; Wong & Swift, 2001). Sementara itu, arang hayati dapat meningkatkan pH pada tanah masam melalui peningkatan kandungan kation basa seperti oksida Ca²⁺, Mg²⁺, dan K⁺ dari abu pada arang hayati, dan melalui penurunan kadar Al³⁺ yang terlarut dalam tanah (Steiner *et al.*, 2007).

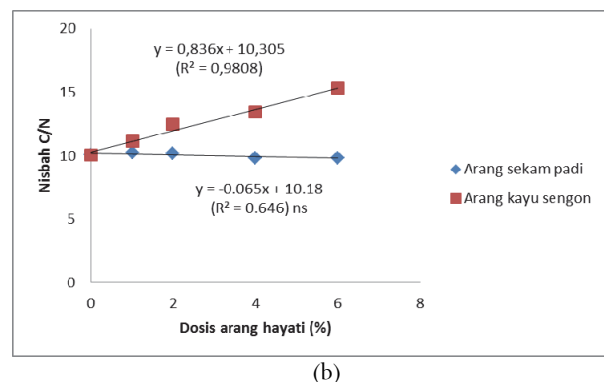
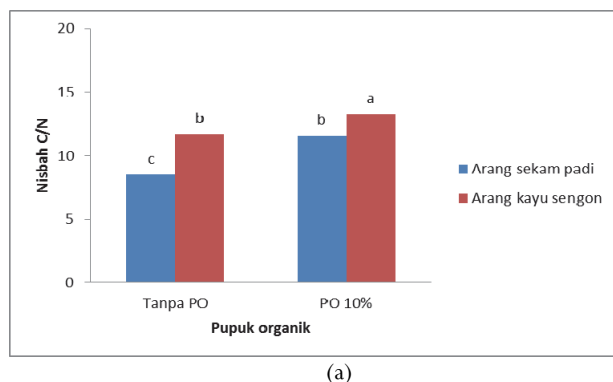
b. C-organik dan nisbah C/N

Pemberian pupuk organik kulit kakao 10% ke dalam media pembibitan dapat meningkatkan kandungan C-organik, yaitu dari 2,70% (kriteria sedang) menjadi 4,55% (kriteria tinggi), atau meningkat sebesar 68,4% dari kondisi tanpa pupuk organik (Gambar 1a). Aplikasi pupuk organik, baik bersama dengan arang sekam padi maupun arang kayu sengon, juga nyata dapat meningkatkan nisbah C/N media pembibitan dibandingkan dengan tanpa pupuk organik (Gambar 2a).



Gambar 1. Kadar C-organik pada media pembibitan yang dipengaruhi oleh: (a) pupuk organik 10% dan (b) jenis dan dosis arang hayati; PO = pupuk organik

Figure 1. C-organic level in seedling media, influenced by: (a) 10% organic fertilizer and (b) type and dose of biochar; PO = organic fertilizers



Gambar 2. Nisbah C/N pada media pembibitan yang dipengaruhi oleh: (a) pupuk organik 10% dan jenis arang hayati dan (b) jenis dan dosis arang hayati; PO = pupuk organik

Figure 2. C/N ratio in seedling media, influenced by: (a) 10% organic fertilizer and (b) type and dose of biochar; PO = organic fertilizers

Peningkatan dosis arang sekam padi dan kayu sengon terhadap kadar C-organik dan nisbah C/N memiliki pengaruh yang berbeda. Peningkatan dosis arang kayu sengon nyata dapat meningkatkan kadar C-organik dan nisbah C/N secara linier, masing-masing dengan persamaan $y=0,247x+3,304$ ($R^2= 0,893$) dan $y=0,836x+10,30$ ($R^2= 0,980$), sedangkan dosis arang sekam padi tidak berpengaruh terhadap kedua parameter tersebut (Gambar 1b dan 2b). Adanya perbedaan pengaruh tersebut disebabkan karena karakteristik arang kayu sengon memiliki kandungan C total, nisbah C/N, dan kadar bahan volatil yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan arang sekam (Tabel 2). Kandungan bahan volatil dalam arang hayati menentukan stabilitasnya dalam tanah karena berhubungan dengan penyediaan C labil yang mudah terdegradasi. Pemberian arang kayu sengon pada dosis tertinggi (6%) mampu meningkatkan C-organik sebesar 49,27% dibandingkan dengan perlakuan tanpa arang hayati (Gambar 1b). Hasil ini relatif sejalan dengan yang dilaporkan oleh Abujabhah, Bound, Doyle, & Bowman (2016), bahwa pemberian arang hayati 47 ton ha⁻¹ nyata meningkatkan C-organik dalam tanah sebesar 23% (dari 2,19% menjadi 2,69%), tetapi peningkatan ini masih lebih rendah bila dibandingkan dengan perlakuan kompos 10 ton ha⁻¹, yaitu sebesar 55%.

Peningkatan C/N media pembibitan akibat pemberian arang kayu sengon dan pupuk organik berpotensi menyebabkan proses imobilisasi N. Upaya yang dapat dilakukan untuk menghindari pengaruh negatif proses imobilisasi N terhadap tanaman adalah melakukan pemupukan N untuk memenuhi kebutuhan tanaman (Schulz, Dunst, & Glaser, 2013).

c. Populasi mikroba

Populasi total mikroba dan populasi MPF dalam media pembibitan dipengaruhi secara nyata oleh interaksi pupuk organik dan dosis arang hayati. Secara umum, pemberian pupuk organik 10% meningkatkan populasi total mikroba, baik tanpa maupun dengan campuran arang hayati. Hasil penelitian lainnya juga menunjukkan bahwa pemberian pupuk organik ke dalam tanah dapat memengaruhi perkembangan populasi mikroba, keragaman mikroba, dan biomassa mikroba tanah (Nakhro & Dkhar, 2010).

Pemberian arang hayati tanpa pupuk organik dapat meningkatkan populasi total mikroba dan populasi MPF secara kuadratik (Tabel 4). Dosis arang hayati optimal sebesar 3,73% untuk populasi total mikroba dan 3,53% untuk populasi MPF. Kelimpahan mikroba meningkat setelah penambahan arang hayati sampai dosis tertentu, namun pengaruh pupuk organik terhadap populasi mikroba lebih besar dibandingkan dengan arang hayati. Hasil penelitian lain juga menyebutkan bahwa pemberian arang hayati dapat meningkatkan jumlah bakteri tanah sebesar 15%, namun peningkatan tersebut masih lebih rendah jika dibandingkan dengan aplikasi kompos, yaitu 58% (Abujabhah *et al.*, 2016). Hal ini terjadi karena adanya perbedaan sifat pupuk organik dan arang hayati, di antaranya: (1) pupuk organik lebih banyak mengandung senyawa karbon labil dibandingkan dengan arang hayati, dan (2) pupuk organik mengandung populasi mikroba yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan arang hayati sehingga dapat menjadi sumber inokulan di dalam media pembibitan.

Tabel 4. Pengaruh interaksi pupuk organik dan dosis arang hayati terhadap populasi total mikroba dan mikroba pelarut fosfat media pembibitan

Table 4. Interaction effect of organic fertilizer and dose of biochar on the total population of microbes and phosphate solubilizing microbes of the seedlings media

Perlakuan	Dosis arang hayati (%)					Kurva tanggap *
	0	1	2	4	6	
..... Populasi total mikroba (log SPK g ⁻¹)						
Tanpa pupuk organik	5,39	5,75	5,94	5,81	5,81	Kuadratik
Pupuk organik 10%	6,58	6,66	6,65	6,70	6,67	-
..... Populasi mikroba pelarut fosfat (log SPK g ⁻¹)						
Tanpa pupuk organik	3,83	4,23	4,40	4,18	4,21	Kuadratik
Pupuk organik 10%	4,30	4,27	4,14	4,28	4,28	-

Keterangan : * dianalisis dengan uji kontras polinomial

Notes : * analyzed by polynomial contrast test

Berdasarkan Tabel 4 juga diketahui bahwa peran arang hayati terhadap peningkatan populasi total mikroba dan populasi MPF hanya terlihat pada media tanpa pupuk organik. Apabila arang diaplikasikan bersama dengan pupuk organik maka tidak terjadi peningkatan yang nyata pada kedua parameter tersebut dibandingkan dengan pemberian pupuk organik saja. Hal ini ditunjukkan dengan kurva tanggap yang tidak nyata. Arang hayati lebih didominasi oleh senyawa C yang bersifat rekalsitran. Namun demikian, arang hayati masih mampu menyediakan substrat untuk aktivitas mikroba karena mengandung fraksi C labil yang dapat termineralisasi oleh mikroba.

Komposisi arang hayati terdiri dari C rekalsitran, C labil atau C dapat tercuci, dan abu (Lehmann *et al.*, 2011). Kandungan C labil terdapat dalam senyawa-senyawa volatil yang terperangkap dalam pori arang hayati (Deenik *et al.*, 2010). Bahan volatil dalam arang hayati berasal dari senyawa-senyawa yang dihasilkan selama proses pirolisis dan terkondensasi kembali pada saat pendinginan ke dalam fraksi cair, terperangkap dalam pori arang hayati, serta mudah larut dalam tanah (Gale *et al.*, 2016). Beberapa senyawa tertentu dalam bahan volatil pada arang hayati ada yang bersifat merangsang maupun menurunkan aktivitas mikroba tanah (Thies & Rillig, 2009). Mikroba dapat menggunakan sejumlah senyawa dalam arang hayati yang bersifat labil tersebut sebagai sumber energi sehingga dapat terdegradasi dalam beberapa hari sampai beberapa bulan (Ameloot *et al.*, 2014). Arang hayati dapat meningkatkan populasi dan aktivitas mikroba melalui beberapa mekanisme, seperti menyediakan habitat bagi mikroba karena memiliki struktur pori dan memperbaiki lingkungan fisika-kimia di antaranya peningkatan porositas, retensi air, pH, dan hara (Lehmann *et al.*, 2011; Ennis, Evans, Islam, Ralebitso-Senior, & Senior, 2012).

Populasi MPF maksimal dicapai pada pemberian arang hayati dengan dosis 3,53% pada media tanpa pupuk organik. Hal tersebut menunjukkan bahwa arang hayati pada dosis tertentu berpotensi meningkatkan ketersediaan P dalam tanah melalui perannya dalam mendukung perkembangan MPF yang mempunyai kemampuan melarutkan senyawa P anorganik kurang larut. Liu *et al.* (2017) melaporkan bahwa pemberian arang hayati meningkatkan kelimpahan dan distribusi *Thiobacillus*, *Pseudomonas*, dan *Flavobacterium*, kelompok bakteri pelarut fosfat dalam tanah. Menurut Siddiqui *et al.* (2016), aplikasi arang hayati dan MPF secara terintegrasi merupakan strategi untuk meningkatkan aktivitas MPF dalam memobilisasi P lebih tinggi pada tanah sehingga mendukung

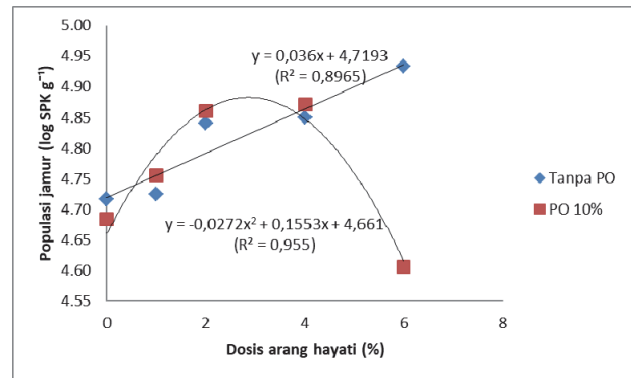
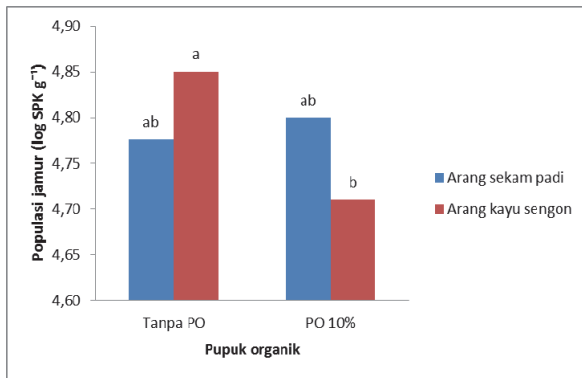
pertumbuhan dan produktivitas tanaman menjadi lebih baik.

Pada media pembibitan tanpa pupuk organik, total populasi jamur pada perlakuan arang kayu sengon tidak berbeda nyata dengan arang sekam padi. Total populasi jamur pada kombinasi pupuk organik dengan arang kayu sengon menurun nyata dibandingkan dengan perlakuan arang kayu sengon saja (Gambar 3a). Hal ini mengindikasikan pemberian pupuk organik dalam media pembibitan tidak selalu berpengaruh positif terhadap populasi mikroba. Pemberian pupuk organik dapat mengakibatkan penurunan populasi jamur karena pupuk organik memacu perkembangan bakteri, sehingga terjadi persaingan dalam memperoleh energi dan hara. Penurunan populasi jamur pada kombinasi pupuk organik dan arang hayati juga diduga karena C-organik sangat tinggi pada kombinasi tersebut dapat mengakibatkan produksi CO₂ meningkat akibat tingkat dekomposisi yang tinggi sehingga menyebabkan populasi menurun. Menurut Bhattarai, Bhattarai, & Pandey (2015), populasi mikroba aerob ditemukan lebih banyak pada kondisi kaya O₂ dibanding CO₂.

Pada media tanpa pupuk organik, peningkatan dosis arang hayati secara nyata meningkatkan total populasi jamur pada media pembibitan. Pola peningkatan tersebut terjadi secara linear dengan persamaan regresi $y=0,036x+4,719$, ($R^2=0,896$) (Gambar 3b). Apabila arang hayati diaplikasikan bersamaan dengan pupuk organik, populasi jamur memberikan tanggap kurva kuadrat dengan persamaan $y=-0,027x^2+0,155x+4,661$, $R^2=0,955$. Berdasarkan kedua kurva tersebut, maka populasi jamur maksimal diperoleh pada dosis arang hayati 2,90%. Secara umum, arang hayati meningkatkan kolonisasi dan hifa tanah karena mempunyai porositas, retensi hara, dan kapasitas mengikat air yang tinggi.

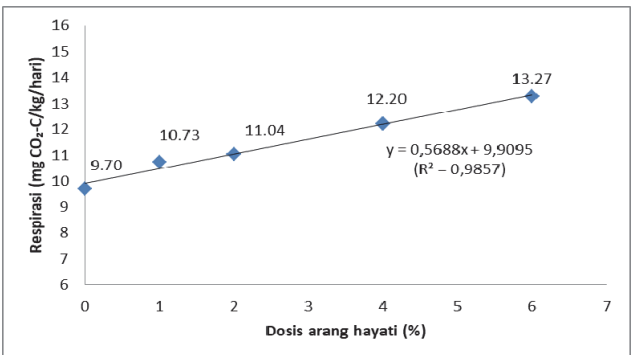
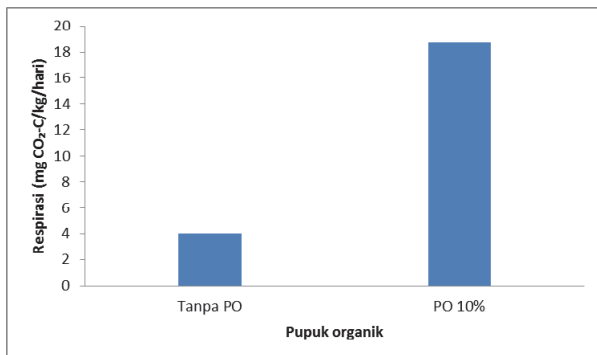
d. Respirasi mikroba

Respirasi dalam media pembibitan dipengaruhi secara nyata oleh dosis arang hayati dan pemberian pupuk organik. Pencampuran pupuk organik dalam media pembibitan menyebabkan peningkatan respirasi tanah 4,65 kali lipat (Gambar 4a). Hal tersebut karena jumlah dan aktivitas mikroba ditentukan oleh sifat fisika-kimia tanah, terutama oleh tingkat bahan organik tanah. Suplai C dari pupuk organik meningkatkan populasi dan aktivitas mikroba sehingga senyawa CO₂ yang dilepaskan dari proses respirasi mikroba juga meningkat. Data ini selaras dengan hasil penelitian Haney, Brinton, & Evans (2008) yang melaporkan bahwa penambahan pupuk kandang antara 0–35,68 ton ha⁻¹ dalam jangka pendek menghasilkan jumlah CO₂ yang meningkat secara linear. Dikemukakan juga bahwa hasil uji korelasi



Gambar 3. Populasi total jamur pada media pembibitan yang dipengaruhi oleh: (a) pupuk organik dan jenis arang hayati dan (b) pupuk organik dan dosis arang hayati; PO = pupuk organik

Figure 3. Total population of fungi in seedling media, influenced by: (a) organic fertilizer and biochar type and (b) organic fertilizer and biochar dose; PO = organic fertilizers



Gambar 4. Respirasi mikroba pada media pembibitan yang dipengaruhi oleh: (a) pupuk organik dan (b) arang hayati

Figure 4. Microbes respiration in seedling media, influenced by: (a) organic fertilizer and (b) biochar

antar parameter yang diuji menunjukkan bahwa respirasi berkorelasi positif dengan kadar C-organik, N total, dan nisbah C/N, serta populasi total mikroba. Doran & Zeiss (2000) dan Aislabie *et al.* (2013) menambahkan bahwa aplikasi bahan organik merupakan kunci yang dapat mengaktifkan peranan mikroba pada ekosistem tanah. Aktivitas mikroba mempunyai peran positif yang penting dalam ekosistem tanah, yaitu dalam proses siklus unsur hara utama (C, N, dan P), perombakan residu organik, pengendalian patogen yang berbahaya, dan detoksifikasi kation dari polutan lingkungan.

Peningkatan dosis arang hayati sampai 6% dalam media pembibitan meningkatkan respirasi CO₂ secara linear dengan persamaan regresi linear $y=0,568x+9,909$, dan $R^2=0,985$ (Gambar 4b). Hasil ini sesuai dengan yang dilaporkan Nurida & Rachman (2012) bahwa respirasi mikroba meningkat dari 8,71 mg CO₂·kg⁻¹ tanah hari⁻¹ (tanpa pembenah tanah) menjadi 10,43 mg CO₂·kg⁻¹ tanah hari⁻¹ oleh pemberian 7,5 ton ha⁻¹ formula bahan pembenah dari arang hayati. Steiner, Das, Garcia, Förster, & Zech (2008) juga melaporkan bahwa peningkatan jumlah arang hayati (50, 100, dan

150 g kg⁻¹ tanah) dapat meningkatkan secara linier respirasi basal dan pertumbuhan populasi mikroba. Berkaitan dengan hal itu, Ameloot *et al.* (2014) mengemukakan bahwa pelepasan CO₂ setelah penambahan arang hayati ke tanah merupakan hasil dari proses: (1) biodegradasi karbon organik tanah asli, (2) biodegradasi senyawa labil yang terkandung dalam arang hayati, atau (3) pelepasan abiotik dari C-arang hayati (dari karbonat atau CO₂ yang terserap secara kimia).

Pengaruh Arang Hayati dan Pupuk Organik terhadap Pertumbuhan dan Bobot Kering Bibit

Aplikasi pupuk organik meningkatkan tinggi dan jumlah daun bibit kakao pada umur 20 MST, dengan peningkatan masing-masing sebesar 29,6% dan 30,5% dibandingkan dengan bibit tanpa pupuk organik. Sedangkan jenis dan dosis arang hayati tidak berpengaruh nyata terhadap tinggi dan jumlah daun, demikian juga nisbah tajuk dan akar pada semua perlakuan (Tabel 5). Namun demikian, diameter batang, bobot kering tajuk, dan akar dipengaruhi secara nyata oleh interaksi pupuk organik dan dosis arang hayati (Tabel 6).

Peningkatan dosis arang hayati pada media pembibitan yang diberi pupuk organik dapat meningkatkan diameter batang dan bobot kering tajuk secara linier. Hasil yang berlawanan terjadi pada media pembibitan tanpa pupuk organik, yaitu peningkatan dosis arang hayati menyebabkan penurunan secara linier terhadap diameter batang dan bobot kering akar, namun tidak berpengaruh terhadap bobot kering tajuk.

Beberapa hasil studi menunjukkan adanya penurunan biomassa dan hasil tanaman sebagai akibat pemberian arang hayati (Asai *et al.*, 2009; Borchard, Siemens, Ladd, Möller, & Amelung, 2014; Deenik *et*

al., 2010; Deenik *et al.*, 2011). Ketidakberhasilan arang hayati dalam meningkatkan biomassa tanaman dapat disebabkan oleh beberapa hal, di antaranya: (1) menurunnya ketersediaan N bagi tanaman akibat adanya imobilisasi N yang dipicu oleh peningkatan aktivitas mikroba karena adanya suplai C labil dari senyawa-senyawa dalam bahan volatil pada arang hayati (Deenik *et al.*, 2010; Deenik *et al.*, 2011), serta imobilisasi N akibat teradsorpsi oleh pori arang hayati, dan (2) adanya kandungan senyawa dalam bahan volatil yang bersifat toksik bagi tanaman (Gale *et al.*, 2016).

Tabel 5. Pengaruh pupuk organik, jenis, dan dosis arang hayati terhadap tinggi bibit, jumlah daun, dan nisbah tajuk dan akar bibit kakao pada umur 20 MST

Table 5. Effect of organic fertilizer and biochar dose to plant height, number of leaves and shoot and root ratio of cacao seedlings at 20 week after planting

Perlakuan	Tinggi bibit (cm)	Jumlah daun (helai)	Nisbah tajuk/akar
Pemberian pupuk organik:			
Tanpa pupuk organik	25,66 b	17,42 b	5,03 a
Pupuk organik 10%	33,26 a	22,73 a	5,23 a
Jenis arang hayati:			
Arang sekam padi	30,68 a	20,44 a	4,97 a
Arang kayu sengon	28,24 a	19,71 a	5,29 a
Dosis arang hayati:			
Arang hayati 0%	29,10 a	19,11 a	4,67 a
Arang hayati 1%	28,74 a	19,46 a	4,88 a
Arang hayati 2%	30,31 a	21,11 a	5,52 a
Arang hayati 4%	28,89 a	20,29 a	4,94 a
Arang hayati 6%	30,26 a	20,40 a	5,64 a

Keterangan : Angka pada kolom yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji BNT pada taraf 5%

Notes : The numbers in the same column followed by the same letter were not significantly different according to LSD test at 5% level

Tabel 6. Pengaruh interaksi perlakuan dosis arang hayati dan pupuk organik terhadap diameter batang, bobot kering tajuk, dan bobot kering akar bibit kakao umur 20 minggu setelah tanam (MST)

Table 6. Interaction effect of organic fertilizer and biochar dose of on stem girth, dry weight of canopy, and dry weight of cacao seedlings root at 20 weeks after planting (WAP)

Perlakuan	Dosis arang hayati (%)					Kurva tanggap *
	0	1	2	4	6	
..... Diameter batang (mm)						
Tanpa pupuk organik	8,39	7,58	7,39	7,74	7,53	Linier (-)
Pupuk organik 10%	7,83	8,71	8,84	9,35	8,71	Linier (+)
..... Bobot kering tajuk (g)						
Tanpa pupuk organik	8,85	8,36	7,91	8,11	7,21	-
Pupuk organik 10%	8,87	9,65	11,77	12,47	12,93	Linier (+)
..... Bobot kering akar (g)						
Tanpa pupuk organik	2,26	1,74	1,49	1,59	1,34	Linier (-)
Pupuk organik 10%	1,69	2,28	2,15	2,84	2,19	-

Keterangan: * dianalisis dengan uji kontras polinomial

Note : * analyzed by polynomial contrast test

Spokas *et al.* (2011) menjumpai 77 senyawa yang teridentifikasi dalam bahan volatil yang terperangkap pada arang hayati. Deenik *et al.* (2011) melaporkan dalam ekstrak arang tongkol jagung berkadar bahan volatil tinggi (22,5%) terdapat kandungan senyawa fenolik (fenol, metil fenol, etil fenol, metoksi vinil fenol) yang relatif lebih tinggi daripada arang hayati berkadar bahan volatil rendah. Kandungan senyawa-senyawa fenolik tersebut tidak bertahan lama di dalam tanah dan menurun sekitar 60% dari awal tanam sampai panen. Hal ini membuktikan bahwa senyawa-senyawa tersebut dapat menjadi sumber C dan merangsang aktivitas mikrob. Akibatnya, penggunaan N oleh mikrob meningkat dan menyebabkan imobilisasi N. Pemberian arang hayati dalam penelitian ini juga terbukti meningkatkan populasi mikrob dan respirasi tanah sebagaimana telah diulas sebelumnya. Hal ini sejalan dengan penelitian Deenik *et al.* (2010) bahwa pada percobaan inkubasi selama 2 minggu, pemberian arang hayati berkadar volatil tinggi menyebabkan peningkatan respirasi tanah dan penurunan kadar $N-NH_4^+$.

Kandungan bahan volatil yang tinggi umumnya terdapat pada arang hayati yang dihasilkan dari suhu pirolisis rendah (Deenik *et al.*, 2011; Spokas *et al.*, 2011). Arang sekam padi dan kayu sengon yang digunakan dalam penelitian ini dihasilkan dari proses pirolisis pada suhu antara $350^{\circ}C-400^{\circ}C$ sehingga memiliki kadar bahan volatil tinggi (Tabel 1). Hal ini mengakibatkan aplikasi arang hayati tanpa pupuk organik tidak dapat meningkatkan pertumbuhan bibit kakao. Hasil penelitian Deenik *et al.* (2011) menunjukkan bahwa pemberian arang hayati berkadar volatil tinggi menurunkan biomassa tanaman jagung sebesar 45%. Sebaliknya, arang hayati berkadar volatil rendah dapat meningkatkan biomassa tanaman sebesar 64%. Borchard *et al.* (2014) juga melaporkan bahwa penambahan arang hayati 100 g kg^{-1} mengakibatkan penurunan bobot kering dan hasil panen jagung yang kemungkinan sebagai akibat dari imobilisasi N.

Senyawa-senyawa dalam bahan volatil pada arang hayati juga ada yang bersifat toksik bagi tanaman, terutama asam karboksilat dan fenolat berantai pendek, seperti asam asetat, asam butirat, 2,4-di-tert-butilfenol, dan asam benzoat (Gale *et al.*, 2016). Senyawa yang bersifat toksik dalam arang hayati akan terlarut dalam tanah dan dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Pada penelitian ini terjadi penurunan bobot kering akar yang mengindikasikan penghambatan pertumbuhan tanaman oleh arang hayati.

Penggunaan arang hayati bersama pupuk organik dapat meningkatkan bobot kering tajuk bibit kakao secara linier. Hal ini menunjukkan bahwa arang hayati dan pupuk organik bersinergi dalam

meningkatkan pertumbuhan bibit kakao. Pupuk organik dapat mensuplai N tersedia bagi tanaman sehingga tanaman tidak mengalami kekurangan N akibat imobilisasi N oleh mikrob. Selain itu, kombinasi arang hayati dan pupuk organik dapat menghasilkan kualitas media pembibitan yang lebih baik. Hal tersebut karena pemberian arang hayati meningkatkan pH, menurunkan Al dapat ditukar, meningkatkan kadar P tersedia dan kadar kation basa pada tanah masam (Yamato *et al.*, 2006; Berek & Hue, 2016), serta perbaikan sifat fisik tanah (Alburquerque *et al.*, 2014) dan sifat biologi tanah sebagaimana yang telah diulas sebelumnya.

Liu *et al.* (2012) mengemukakan bahwa kompos dan arang hayati dapat bersinergi dalam: (1) meningkatkan simpanan C dalam tanah melalui pembentukan kompleks arang hayati-kompos yang stabil; (2) meningkatkan ketersediaan hara melalui peningkatan fiksasi N secara biologi, menurunkan pencucian hara tanah dan suplai hara dari kedua amelioran; dan (3) memperbaiki struktur tanah dan menjaga keseimbangan air melalui pembentukan struktur pori yang lebih baik. Pencampuran pupuk organik juga diduga dapat berpengaruh positif terhadap penurunan tingkat toksisitas bahan volatil dari arang hayati. Menurut Spokas *et al.* (2011), bahan volatil yang terserap oleh arang hayati akan hilang saat pengomposan. Sebagian senyawa volatil dapat didegradasi oleh mikrob yang melimpah oleh pemberian pupuk organik sehingga arang hayati tidak bersifat toksik bagi tanaman dan peran positif arang hayati dapat direspon oleh tanaman. Seperti dilaporkan Agegnehu *et al.* (2015) bahwa pengaruh menguntungkan arang hayati terhadap pertumbuhan tanaman ialah ketika dikombinasikan dengan pupuk organik.

KESIMPULAN

Pupuk organik dan amelioran arang kayu sengon nyata meningkatkan C-organik dan nisbah C/N media pembibitan yang berasal dari tanah Ultisol. Pemberian pupuk organik atau peningkatan dosis arang hayati meningkatkan pH, N total, dan respirasi mikrob. Peningkatan nisbah C/N media pembibitan oleh pemberian arang hayati dan adanya kandungan bahan volatil dalam arang hayati memacu peningkatan populasi dan aktivitas mikrob, namun dapat menyebabkan proses imobilisasi N yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Pemberian arang hayati bersama pupuk organik dapat meningkatkan diameter batang dan bobot kering bibit kakao. Kedua amelioran bersinergi dalam meningkatkan kualitas media pembibitan dan pertumbuhan bibit kakao.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana dengan dukungan dana dari Hibah Penelitian Strategis Unggulan (DIKTI) dan dana beasiswa Badan Litbang Pertanian. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset dan Pendidikan Tinggi dan Kementerian Pertanian atas dukungan dana penelitian. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Hendra Ginanjar S.Farm dan Slamet yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abujabhah, I. S., Bound, S. A., Doyle, R., & Bowman, J. P. (2016). Effects of biochar and compost amendments on soil physico-chemical properties and the total community within a temperate agricultural soil. *Applied Soil Ecology*, 98(November), 243–253. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.10.021>
- Aislabie, J. & Deslippe, J. R. (2013). Soil microbes and their contribution to soil services. In J. R. Dymond (Ed.), *Ecosystem services in New Zealand - Conditions and trends* (pp.143–161). New Zealand: Maanaaki Whanua Press.
- Agegnehu G., Bird M. I., Nelson P. N., Bass A. M. (2015). The ameliorating effects of biochar and compost on soil quality and plant growth on a Ferralsol. *Soil Res*, 53(1),1-12. <http://doi.org/10.1071/SR14118>.
- Alburquerque, J. A., Calero, J. M., Barrón, V., Torrent, J., del Campillo, M. C., Gallardo, A., & Villar, R. (2014). Effects of biochars produced from different feedstocks on soil properties and sunflower growth. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177(1), 16–25. <https://doi.org/10.1002/jpln.201200652>
- Ameloot, N., Sleutel, S., Case, S. D. C., Alberti, G., McNamara, N. P., Zavalloni, C., ... De Neve, S. (2014). C mineralization and microbial activity in four biochar field experiments several years after incorporation. *Soil Biology and Biochemistry*, 78, 195–203. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.08.004>
- Anas, I. (1989). *Petunjuk laboratorium - Biologi tanah dalam praktik*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Anderson, C. R., Condrón, L. M., Clough, T. J., Fiers, M., Stewart, A., Hill, R. A., & Sherlock, R. R. (2011). Biochar induced soil microbial community change: Implications for biogeochemical cycling of carbon, nitrogen and phosphorus. *Pedobiologia*, 54(5–6), 309–320. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2011.07.005>
- Asai, H., Samson, B. K., Stephan, H. M., Songyikhangsuthor, K., Homma, K., Kiyono, Y., ... Horie, T. (2009). Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos. 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Research*, 111(1–2), 81–84. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.10.008>
- Atkinson, C. J., Fitzgerald, J. D., & Hipps, N. A. (2010). Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: A review. *Plant and Soil*, 337(1), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0464-5>
- Baharudin, & Rubiyo. (2013). Pengaruh perlakuan benih dan media pembibitan terhadap peningkatan vigor bibit kakao hibrida. *Buletin RISTRI*, 4(1), 27–38.
- Berek, A. K., Hue, N. V. (2016). Characterization of biochars and their use as an amendment to acid soils. *Soil Science*, 181(9/10):412-426. <http://doi.org/10.1097/SS.0000000000000177>
- Bhattarai, A., Bhattarai, B., & Pandey, S. (2015). Variation of Soil Microbial Population in Different Soil Horizons. *J Microbial Exp*, 2(2), 2–5. <https://doi.org/10.15406/jmen.2015.02.00044>
- Borchard, N., Siemens, J., Ladd, B., Möller, A., & Amelung, W. (2014). Application of biochars to sandy and silty soil failed to increase maize yield under common agricultural practice. *Soil and Tillage Research*, 144, 184–194.
- Deenik, J. L., McClellan, T., Uehara, G., Antal, M.J., Campbell, S. (2010). Charcoal volatile matter content influences plant growth and soil nitrogen transformations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 74(4), 1259–1270. <http://doi:10.2136/sssaj2009.0115>
- Doran, J. W., & Zeiss, M. R. (2000). Soil health and sustainability: Managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 15, 3–11. <https://doi.org/10.1016/S0929-Get>
- Ennis, C., Evans, G., Islam, M., Ralebitso-Senior, K., & Senior, E. (2012). Biochar: Carbon sequestration, land remediation, and impacts on soil microbiology. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 42(22), 2311–2364. <https://doi.org/10.1080/10643389.2011.574115>
- Gale, N. V., Sackett, T. E., Thomas, S. C. (2016). Thermal treatment and leaching of biochar alleviates plant growth inhibition from mobile organic compounds. *PeerJ*. 4:e2385. <http://dx.doi.org/10.7717/peerj.2385>

- Glaser, B., Lehmann, J., & Zech, W. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal - A review. *Biology and Fertility of Soils*, 35(4), 219–230. <https://doi.org/10.1007/s00374-002-0466-4>
- Granatstein, D., Kruger, C., Collins, H., Garcia-Perez, M., & Yoder, J. (2009). Use of biochar from the pyrolysis of waste organic material as a soil amendment. *Center for Sustaining Agric. Nat. Res. Washington State University, Wenatchee, WA. WSDA Interagency Agreement. C, 800248*.
- Haney, R. L., Brinton, W. H., & Evans, E. (2008). Estimating soil carbon, nitrogen, and phosphorus mineralization from short term carbon dioxide respiration. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39(17–18), 2706–2720. <https://doi.org/10.1080/00103620802358862>
- Haynes, R. J., & Mokolobate, M. S. (2001). Amelioration of Al toxicity and P deficiency in acid soils by additions of organic residues: A critical review of the phenomenon and the mechanisms involved. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 59(1), 47–63.
- Kolb, S. E., Fermanich, K. J., & Dornbush, M. E. (2009). Effect of charcoal quantity on microbial biomass and activity in temperate soils. *Soil Science Society of America Journal*, 73(4), 1173. <https://doi.org/10.2136/sssaj2008.0232>
- Laird, D., Fleming, P., Wang, B., Horton, R., Karlen, D. (2010). Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, 158, 436–442. <http://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.05.012>
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., & Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota - A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(9), 1812–1836. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022>
- Liu, J., Schulz, H., Brandl, S., Miehtke, H., Huwe, B., Glaser B. (2012). Short term effect of biochar and compost on soil fertility and water status of a Dystric Cambisol in NE Germany under field conditions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175(5), 698–707. <http://doi.org/10.1002/jpln.201100172>
- Liu, S., Meng, J., Jiang, L., Yang, X., Lan, Y., Cheng, X., & Chen, W. (2017). Rice husk biochar impacts soil phosphorous availability, phosphatase activities and bacterial community characteristics in three different soil types. *Applied Soil Ecology*, 116, 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.03.020>
- Mulyani, A., Rachman, A., Dariah, A. (2009). Penyebaran lahan masam, potensi, dan ketersediannya untuk pengembangan pertanian. In *Buku fosfat alam: Pemanfaatan fosfat alam yang digunakan langsung sebagai pupuk sumber P (32p)*. Bogor: Balai Penelitian Tanah.
- Nakhro, N., & Dkhar, M. S. (2010). Impact of organic and inorganic fertilizers on microbial populations and biomass carbon in paddy field soil. *Journal of Agronomy*, 9(3), 102–110. <https://doi.org/10.3923/ja.2010.102.110>
- Nurida, N. L., & Rachman, A. (2012). Alternatif pemulihan lahan kering masam terdegradasi dengan formula pembenah tanah biochar di Typic Kanhapludults Lampung. In *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pemupukan dan Pemulihan Lahan Terdegradasi* (pp. 639–648). Bogor, 29-30 Juni, 2012: Kementerian Pertanian.
- Pusat Penelitian Kopi dan Kakao. (2004). *Panduan budidaya kakao* (p. 328). Jakarta: Agromedia Pustaka.
- Schulz, H., Dunst, G., & Glaser, B. (2013). Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility. *Agronomy for Sustainable Development*, 33(4), 817–827. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0150-0>
- Siddiqui, A. R., Nazeer, S., Piracha, M. A., Saleem, M. M., Siddiqui, I., Shahzad, S. M., & Sarwar, G. (2016). The production of biochar and its possible effects on soil properties and phosphate solubilizing bacteria. *Journal of Arid Agriculture and Biotechnology*, 1(1), 27–40.
- Spokas, K. A., Novak, J. M., Stewart, C. E., Cantrell, K. B., Uchimiya, M., DuSaire, M. G. Ro, K. S. (2011). Qualitative analysis of volatile organic compounds on biochar. *Chemosphere*, 85(5), 869–882. <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.06.108>
- Steiner, C., Das, K. C., Garcia, M., Förster, B., & Zech, W. (2008). Charcoal and smoke extract stimulate the soil microbial community in a highly weathered xanthic Ferralsol. *Pedobiologia*, 51(5–6), 359–366. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2007.08.002>
- Steiner, C., Teixeira, W. G., Lehmann, J., Nehls, T., de Macêdo, J. L. V., Blum, W. E. H., & Zech, W. (2007). Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant and Soil*, 291(1), 275–290. <https://doi.org/DOI.10.1007/s11104-007-9193-9>

- Subowo, G. (2010). Strategi efisiensi penggunaan bahan organik untuk kesuburan dan produktivitas tanah melalui pemberdayaan sumberdaya hayati tanah. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 4(1), 13–25.
- Sulaeman, Suparto, & Eviati. (2005). *Petunjuk teknis: Analisis kimia tanah, tanaman, air, dan pupuk*. Bogor: Balai Penelitian Tanah.
- Thies, J. E., & Rillig, M. (2009). Characteristic of biochar: Biological properties. *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*, (January), 85–107.
- Wong, M. T. F., & Swift, R. S. (2001). Application of fresh and humified organic matter to ameliorate soil acidity. Proceedings of the 9th International Conference of the International Humic Substance Society. *Understanding and Managing Organic Matter in Soils, Sediments and Water* (pp. 235–242). Adelaide, 21-25 September 1998: International Humic Substance Society.
- Yamato, M., Okimori, Y., Wibowo, I. F., Anshori, S., & Ogawa, M. (2006). Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. *Soil Science and Plant Nutrition*, 52(4), 489–495. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2006.00065.x>

