

This file has been cleaned of potential threats.

If you confirm that the file is coming from a trusted source, you can send the following SHA-256 hash value to your admin for the original file.

b9dedf0b57e90ec19bddb4369abb0155249393863ec447e0bc15fa0c61df7c93

To view the reconstructed contents, please SCROLL DOWN to next page.

PENGARUH APLIKASI ARANG TERHADAP PERTUMBUHAN AWAL *Michelia Montana* Blume DAN PERUBAHAN SIFAT KESUBURAN TANAH PADA TIPE TANAH LATOSOL (*The Effect of Biochar Application on Early Growth of Michelia montana Blume and Change in Soil Fertility of Latosol Soil Type)**

Oleh/By :

Harris Herman Siringoringo¹⁾ dan/and Chairil Anwar Siregar²⁾

Pusat Litbang Konservasi dan Rehabilitasi

Jl. Gunung Batu No. 5 PO BOX 165; Telp.0251-8633234, 7520067; Fax 0251-8638111 Bogor

¹⁾ ringobogor@gmail.com; ²⁾ siregarca@yahoo.co.id

*) Diterima : 17 Desember 2010; Disetujui : 13 Juni 2011

ABSTRACT

The application of biochar as one of soil conditioner material in plantation forest operation is rarely used, despite the fact that the raw materials of this biochar in the form of leftovers of tree cuttings are abundant and potentially available to be processed as soil conditioner. For that reason, this research was conducted to examine the effects of fine biochar application on stimulating the growth of six-month old Michelia montana Blume seedlings. This species was planted at a clay texture of Latosol soil types in an Experimental Garden of Carita, Banten Province. It is expected that the application of biochar as soil conditioner would increase soil fertility parameters that actually shift to the better fertilities. Climate of Carita is type B with average annual rainfall 2,516 mm, minimum temperature 22^oC, and maximum temperature 33^oC, as air humidity between 76% and 84% well. The result of this research indicated that the 5% dosage of fine biochar application (v/v) significantly improved the early growth of six-month old M. montana Blume species. Meanwhile, positive effects of biochar application on chemical soil fertility were revealed with the raise of concentrations of soil pH, soil cation Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, K₂O, P₂O₅, CEC, and BS as well as the decrease in those of exchangeable H⁺ and Al³⁺. Biochar additions to the clayey Latosol soil types promote significantly the fertility.

Keywords : Biochar application, dosage, the growth rate, soil fertility parameters, Latosol soil

ABSTRAK

Penggunaan arang (*biochar*) sebagai salah satu bahan *soil conditioner* dalam bidang usaha hutan tanaman masih jarang digunakan, walaupun jumlah bahan baku berupa sisa-sisa tebangan hutan untuk diolah menjadi *biochar* sangat melimpah dan secara potensial tersedia untuk digunakan sebagai *soil conditioner*, oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk memperoleh informasi tentang efek positif arang halus dalam merangsang pertumbuhan jenis tanaman *Michelia montana* Blume umur enam bulan pada tipe tanah Latosol yang bertekstur liat di Kebun Percobaan Carita, Provinsi Banten. Aplikasi arang sebagai *soil conditioner* juga diharapkan dapat meningkatkan sejumlah parameter kesuburan tanah yang bergeser ke arah yang lebih baik. Kondisi iklim di Carita termasuk tipe B dengan rerata curah hujan tahunan sebesar 2.516 mm dengan temperatur minimum 22^oC dan maksimum 33^oC serta kelembaban udara antara 76-84%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi dosis arang halus 5% (v/v) cukup nyata menaikkan laju pertumbuhan awal tanaman *M. montana* Blume. Sementara efek positif aplikasi bahan arang terhadap sifat kesuburan kimia tanah tampak dalam hal naiknya pH, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, KTK, KB, K₂O, P₂O₅ dan turunnya kadar H⁺-dd dan Al³⁺-dd. Aplikasi arang dapat memperbaiki kualitas kesuburan tanah yang signifikan pada tipe tanah Latosol yang bertekstur liat.

Kata kunci : Aplikasi arang, dosis, laju pertumbuhan, parameter kesuburan tanah, tanah Latosol

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Aplikasi arang (*biochar/terra preta*) pada lahan bukan merupakan konsep baru (Mann, 2005), sebagai contoh bumi gelap antropogenik di Lembah Amazon (disebut *terra preta de indio*) mengandung sejumlah besar bahan arang - residu-residu dari hasil pembakaran biomasa (Sombroek, Ruyffelaere, Fearnside, Glaser, and Lehmann, 2003). Pemanfaatan arang secara sengaja pada lahan di Lembah Amazon kemungkinan besar telah menjadi kebiasaan para petani suku Amerindian pra Columbus - sebelum kehadiran orang-orang Eropa (Erickson, 2003). Hingga hari ini, ratusan hingga ribuan tahun setelah daerah bumi gelap Amazon (*Amazonian dark earth*) ditinggalkan, simpanan karbon arang dalam jumlah besar masih tersisa. Total simpanan karbon (C)-nya sangat tinggi, yaitu 250 ton C/ha jauh lebih besar daripada nilai tipikal setempat dengan bahan induk yang sama, yaitu 100 ton C/ha pada tanah Amazon (Glaser, Haumaier, Guggenberger, and Zech, 2001). Secara teoritis, kandungan C tanah tersebut bahkan jauh melebihi potensi sekuestrasi C dalam biomasa tanaman bahkan jika suatu areal lahan kosong ditanami kembali (*restocked*) menjadi hutan primer yang hanya akan mengandung sekitar 110 ton C/ha di atas tanah (Sombroek *et al.*, 2003).

Tanah *terra preta* Amazon mungkin merupakan salah satu contoh yang signifikan mengenai daya tahan (*durability*) dari efek arang bila ada di dalam tanah, dapat meningkatkan potensi kesuburan tanah. Tanah *terra preta* ini tetap sangat subur selama ratusan sampai ribuan tahun hingga hari ini (Major, 2009). Karbon dalam bentuk arang di dalam tanah memiliki waktu paruh lebih dari 1.000 tahun. Sekitar 50% dari jumlah karbon arang akan terurai setelah lebih dari 1.000 tahun (Laird, 2008). Karbon tanah (bahan organik tanah) mempengaruhi indikator fisik, kimia dan biologi tanah, seperti sta-

bilitas agregat (fisik), retensi, ketersediaan hara (kimia), siklus hara (biologi) dan merupakan indikator terhadap kualitas tanah itu sendiri (Kuykendall, 2008).

Diilhami oleh sifat menarik dari *terra preta de indio*, *biochar* diidentifikasi sebagai suatu *soil conditioner*, suatu bahan yang ditambahkan ke dalam tanah untuk memperbaiki pertumbuhan dan kesehatan tanaman, yang memiliki potensi untuk merevolusi konsep pengelolaan tanah. Benefit *biochar* (*charcoal from biomass*) di dalam tanah terutama terletak pada dua pilar, yaitu daya retensi/afinitas/adsorpsinya yang sangat tinggi terhadap unsur-unsur hara dan persistensi/kestabilannya yang sangat tinggi di dalam tanah (Cornell University, 2010). Selain karbon dalam bentuk arang akan dipindahkan dari atmosfer dan disekuestrasi selama ribuan tahun di dalam tanah, pada saat yang bersamaan aplikasi arang pada lahan juga akan memberikan kontribusi yang sangat lama terhadap kualitas tanah.

Di Indonesia, pemanfaatan *biochar* sebagai *soil conditioner* terutama dalam praktek-praktek pengelolaan lahan hutan masih sangat jarang dilakukan. Sementara potensi jumlah limbah pertanian dan hutan sedemikian berlimpah, antara lain dari hasil pembukaan lahan maupun aktivitas pemanenan yang meninggalkan limbah berupa daun, ranting, termasuk pohon rusak. Berdasarkan data, potensi limbah biomasa berkayu hasil pembalakan hutan sekitar 29,70 juta m³/tahun, limbah industri penggergajian kayu sekitar 1,40 juta m³/tahun, dan limbah perkebunan sekitar 27,32 juta m³/tahun (Anonim, 2000). Melalui proses karbonisasi/pirolisis, seyogianya limbah tersebut dapat dikonversi menjadi *biochar* untuk selanjutnya difungsikan sebagai *soil conditioner*. Di sisi lain, lahan kritis di Indonesia telah mencapai luasan sekitar 50 juta ha (Harun, 2008).

Memperhatikan potensi bahan baku yang berlimpah dan benefit *biochar* yang sangat potensial, maka penelitian terhadap pemanfaatan *biochar* sebagai *soil*

conditioner terutama dalam upaya memperbaiki status kesuburan lahan-lahan kritis dalam kaitannya dengan akselerasi pertumbuhan jenis-jenis tanaman hutan dipandang sangat perlu untuk dilakukan.

B. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh informasi tentang besarnya pengaruh aplikasi dosis arang terhadap parameter pertumbuhan dan perubahan sifat kesuburan tanah pada tanaman hutan *Michelia montana* Blume (manglid) umur enam bulan pada tipe tanah Latosol yang pada umumnya pH agak masam. Manglid merupakan spesies pohon endemik yang sudah mulai langka ditemukan di Jawa Barat. Kayu jenis ini sangat disukai di Jawa Barat, karena kayunya mengkilat, strukturnya padat, halus, ringan dan kuat. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai salah satu solusi alternatif dalam menangani masalah akselerasi pertumbuhan fase awal tanaman hutan jenis *M. montana* Blume terutama pada lahan-lahan kritis di wilayah Jawa Barat maupun wilayah lainnya di Indonesia.

II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi Penelitian

Percobaan aplikasi arang pada lobang tanam dengan tanaman indikator *M. montana* dilakukan dengan membangun demplot pada petak 5 dan petak 6, Carita II, Kebun Percobaan Carita, Provinsi Banten, Jawa Barat pada bulan Oktober 2005.

Berdasarkan peta tanah (LPT, 1966), jenis tanah di lokasi penelitian adalah asosiasi antara Latosol coklat kemerahan dan Latosol coklat menurut sistem klasifikasi Dudal-Soeprahardjo (1957) dalam Hardjowigeno (2003) setara dengan Cambisol (FAO, 1974) atau *Tropept (Inceptisol)* (USDA, 1975). Tanah terbentuk dari bahan induk "tuf vulkan intermedier" pada fisiografi/wilayah vulkan. Tanah Latosol bersolum dalam, struktur ta-

nah mantap bergumpal, warna tanah homogen hampir pada seluruh penampang profil, kadar liat tinggi, tingkat kesuburan sedang hingga agak rendah. Bentuk topografi wilayah termasuk berbukit dengan kemiringan lereng pada kisaran 15-17,5⁰ dan ketinggian tempat 150 hingga 170 m dpl. Berdasarkan data *online* dari *website* Stasiun Klimatologi Pondok Betung (2011), kondisi iklim kawasan Taman Wisata Alam Carita dan sekitarnya, menurut klasifikasi Schmidt dan Ferguson tahun 1954, termasuk tipe iklim B dengan curah hujan rata-rata 2.516 mm per tahun berdasarkan data dari stasiun pemantau curah hujan terdekat dari areal penelitian, yaitu Stasiun Curah Hujan Labuan (Lampiran 1). Sementara temperatur berada pada kisaran minimum 22⁰C dan maksimum 33⁰C, kelembaban udara berada pada kisaran 76-84% berdasarkan data dari stasiun pemantau meteorologi terdekat dari areal penelitian, yaitu Stasiun Pemantau Meteorologi Kota Serang. Data iklim tersebut merupakan data pengamatan selama 15 tahun dari tahun 1991 hingga 2005.

Jenis-jenis vegetasi utama, baik yang berbentuk pohon tingkat tinggi maupun vegetasi lain berupa perdu dan tanaman semusim pada rona awal (*baseline*) lokasi penelitian adalah pulai (*Alstonia scholaris*), durian (*Durio zibethinus*), manggis (*Mangifera indica*), cengkeh (*Syzygium aromaticum*), tangkil (*Gnetum gnemum*), nangka (*Artocarpus integra*), pisang (*Musa* sp.), ketela pohon (*Manihot esculenta*), lengkuas (*Alpinia galanga*), *Melastoma* sp., rumput jalar (gulma), dan sedikit alang-alang (*Imperata cylindrica*).

B. Bahan dan Alat Penelitian

Arang yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari limbah (ranting, cabang dan belukar) dari hasil pembukaan lahan pada suatu kawasan hutan yang didominasi oleh jenis *Schima wallichii* (puspa), *Maesopsis emenii* (manii), dan *Bellucia axinanthera* (harendong). Pembuatan arang menggunakan metode

tradisional yaitu dikubur dan dibakar di dalam tanah (*earth kiln method*) pada kisaran suhu 350-450⁰C. Arang yang dihasilkan kemudian ditumbuk halus hingga menyerupai butiran pasir halus.

C. Metode Penelitian

1. Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan rancangan acak kelompok dengan empat perlakuan level dosis arang (v/v), yaitu 0%, 5%, 10%, dan 15% dengan tiga ulangan. Masing-masing plot/petak uji berukuran 12 m x 16 m dengan jarak tanam 2 m x 2 m dan lobang tanam berukuran 30 cm x 30 cm x 30 cm (27 liter).

2. Pengukuran Laju Pertumbuhan dan Perubahan Sifat Kesuburan Tanah

Laju pertumbuhan tanaman umur enam bulan dihitung berdasarkan selisih antara data pengukuran parameter pertumbuhan tanaman pada saat umur enam bulan dan data pengukuran parameter pertumbuhan tanaman pada saat tanam.

Untuk mengetahui perubahan sifat kesuburan tanah dilakukan pengambilan contoh tanah pada kedalaman 0-30 cm di sekitar lobang tanam tanaman *M. montana* pada tiga titik yang berbeda pada setiap petak uji dan contoh tanah dari setiap petak uji yang sama dikompositkan. Selanjutnya dilakukan uji laboratorium berdasarkan prosedur dan standar yang berlaku.

3. Analisis Data

Validasi data sebaran pertumbuhan (tinggi dan diameter) tanaman *M. montana* dilakukan dengan cara uji kenormalan (*normal distribution*). Untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan pengaruh perlakuan level dosis arang terhadap parameter pertumbuhan dan terhadap perubahan sifat fisik dan kimia tanah dilakukan uji analisis sidik ragam (ANOVA) dan uji beda tengah antara perlakuan di-

lakukan dengan metode uji *HSD-Tukey-Kramer* dengan menggunakan *software JMP Start Statistics* (Sall, Creighton, and Lehman, 2005).

III. HASIL

A. Hasil Pengamatan dan Pengukuran Laju Pertumbuhan *M. montana*

Perlakuan empat level dosis arang (0%, 5%, 10%, dan 15%) berdasarkan volume lobang tanam (v/v) berpengaruh sangat nyata (anova satu arah, $p < 0,001$) terhadap nilai rerata laju pertumbuhan (tinggi, diameter) *M. montana* umur enam bulan setelah tanam (Lampiran 2). Berdasarkan uji beda tengah (uji-*HSD*), perlakuan dosis arang 5% memberikan respon yang lebih baik terhadap laju pertumbuhan tinggi *M. motana*, yaitu $34,22 \pm 4,85$ cm dan berbeda nyata bila dibandingkan dengan perlakuan dosis arang 15%, yaitu $25,40 \pm 5,10$ cm dan juga lebih baik walaupun tidak berbeda secara statistik bila dibandingkan dengan perlakuan dosis arang 10%, yaitu $32,82 \pm 5,61$ cm dan 0%, yaitu $31,39 \pm 5,11$ cm (Tabel 1 dan Gambar 1).

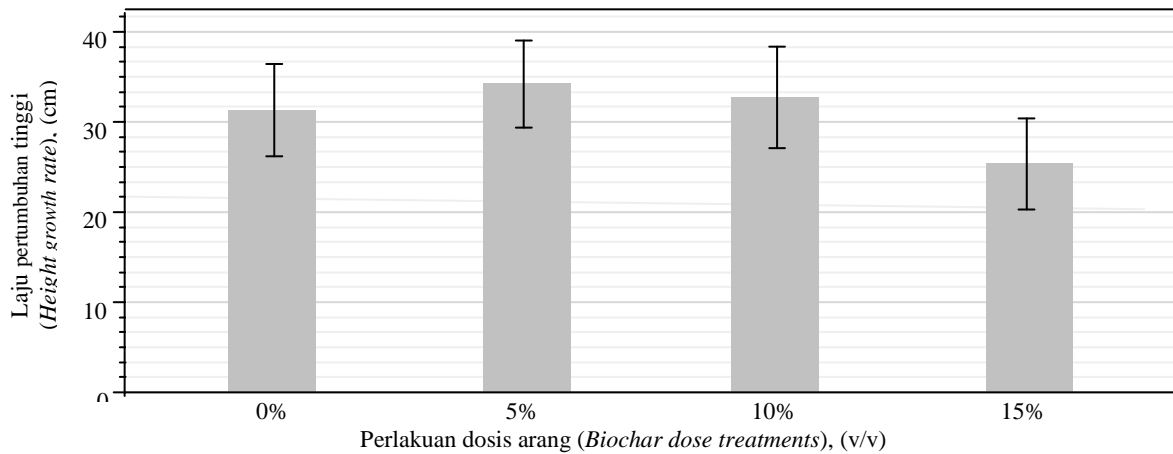
Sama halnya dengan laju pertumbuhan tinggi, perlakuan dosis arang 5% juga memberikan respon yang lebih baik terhadap laju pertumbuhan diameter *M. montana* umur enam bulan setelah tanam, yaitu $3,99 \pm 0,62$ mm dan berbeda sangat nyata bila dibandingkan dengan perlakuan dosis arang 15%, yaitu $2,86 \pm 0,45$ mm dan perlakuan dosis arang 10%, yaitu $3,04 \pm 0,57$ mm serta berbeda nyata bila dibandingkan dengan perlakuan dosis tanpa arang (0%), yaitu $3,49 \pm 0,65$ mm (Tabel 1 dan Gambar 2).

Hasil penelitian ini secara jelas menunjukkan bahwa aplikasi dosis arang 5% (v/v) lebih adaptif terhadap pertumbuhan awal *M. montana* setidaknya hingga pada umur enam bulan pertama setelah ditanam pada tipe tanah Latosol.

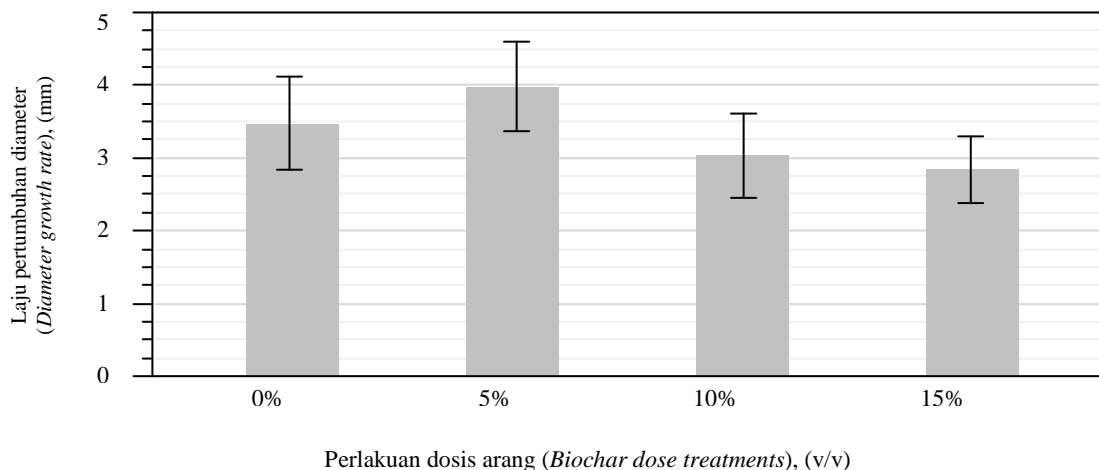
Tabel (Table) 1. Pengaruh perlakuan empat level dosis arang terhadap laju pertumbuhan awal tanaman *M. montana* umur enam bulan (*The effect of four dosage level treatments of biochar on early growth rate of six-month M. montana*)

Perlakuan dosis arang (Biochar dosage treatments)	Nilai rerata laju pertumbuhan tinggi (Mean values of height growth rate) (cm)	SD (cm)	CV (%)	Nilai rerata laju pertumbuhan diameter (Mean values of diameter growth rate) (mm)	SD (mm)	CV (%)
0%	31,39 ^a	5,11	16,28	3,49 ^b	0,65	18,65
5%	34,29 ^a	4,85	14,14	3,99 ^a	0,62	15,59
10%	32,82 ^a	5,61	17,10	3,04 ^c	0,57	19,02
15%	25,40 ^b	5,10	20,06	2,86 ^c	0,45	15,88

Keterangan (Remarks): Nilai rerata tinggi dan diameter di dalam kolom yang sama dan di dalam baris yang berbeda yang diikuti oleh huruf yang berbeda adalah berbeda nyata pada taraf 5% menurut uji Tukey-Kramer (Mean value in the same columns in the different row followed by the different letters are significantly different at 5% level according to Tukey-Kramer HSD test)



Gambar (Figure) 1. Perbandingan pengaruh perlakuan empat level dosis arang yang ditabur pada lobang tanam terhadap laju pertumbuhan tinggi tanaman *M. montana* pada umur enam bulan setelah penanaman (*The comparison of effect of four dosage level treatments of biochar scattered over planting hole area on height growth rate of six-month old M. montana plantation*)



Gambar (Figure) 2. Perbandingan pengaruh perlakuan empat level dosis arang yang ditabur pada lobang tanam terhadap laju pertumbuhan diameter tanaman *M. montana* umur enam bulan (*The comparison of effect of four dosage level treatments of biochar scattered over planting area on diameter growth rate of six-month old M. montana plantation*)

B. Sifat Fisik dan Kimia Tanah Setelah Aplikasi Arang

Tabel 2 menampilkan data nilai rerata dan simpangan baku konsentrasi pada sejumlah parameter sifat fisik (tekstur) dan kimia (kesuburan) tanah, data uji beda tengah dan termasuk data parameter sifat fisik-kimia bahan arang yang digunakan.

Berdasarkan uji anova, perlakuan empat level dosis arang berpengaruh nyata ($p < 0,05$) hingga sangat nyata ($p < 0,001$)

terhadap lima parameter kesuburan tanah pada tanaman hutan jenis *M. montana*, yaitu pH-H₂O, Ca²⁺, KTK, KB dan H-dd (Lampiran 3). Sementara empat parameter sifat kesuburan tanah lainnya, walau tidak berpengaruh nyata secara statistik, cenderung menaik baik secara linier maupun tidak linier berdasarkan naiknya level dosis arang yang ditambahkan, yaitu pada P₂O₅ tersedia, K₂O tersedia, kation Mg²⁺ dan menurun pada kation Al³⁺ (Tabel 2).

Tabel (Table) 2. Pengaruh aplikasi dosis arang terhadap sifat fisik-kimia tanah pada *M. montana* umur enam bulan (*The effect of biochar dosage treatments on soil chemical and physical properties of six-month M. montana site*)

Parameter (Parameter)	Perlakuan dosis arang (Biochar dosage treatments)				Arang (Biochar)
	0%	5%	10%	15%	
Tekstur (Texture) %	Liat (Clay)	Liat (Clay)	Liat (Clay)	Liat (Clay)	
- Pasir (Sand)	8 (1,00)	11,33 (2,52)	11,67 (4,73)	9,33 (4,16)	72
- Debu (Silt)	14 (1,00)	12,33 (1,53)	12,67 (2,08)	12,67 (0,58)	18
- Liat (Clay)	78 (1,00)	76,33 (1,15)	75,67 (5,03)	78 (3,61)	10
pH (Soil reaction)					
- pH H ₂ O	4,53 ^b (0,06)	4,77 ^a (0,06)	4,77 ^a (0,06)	4,7 ^a (0)	8,3
- pH KCl	3,87 (0,06)	3,9 (0,10)	3,9 (0)	3,87 (0,06)	7,4
C%, Walkey-Black	2,25 (0,16)	2,23 (0,21)	2,46 (0,59)	2,8 (0,21)	67,5 (NC)
N%, Kjeldahl	0,19 (0,01)	0,18 (0,01)	0,18 (0,03)	0,2 (0,02)	0,36
P ₂ O ₅ total (Total P ₂ O ₅), HCl 25%, (mg/100g)	44,67 (1,53)	46,0 (1,73)	50 (7,55)	46 (5,20)	34
K ₂ O total (HCl 25% K ₂ O), mg/100g	8,67 (1,53)	11,33 (2,52)	12,33 (1,53)	11,33 (3,21)	580
P ₂ O ₅ tersedia (Bray P ₂ O ₅), (ppm)	2,43 (0,50)	2,9 (0,80)	3,17 (0,55)	3,27 (0,75)	54
K ₂ O tersedia (Morgan K ₂ O), ppm	81,33 (17,16)	107 (21,07)	109,33 (13,50)	106,7 (38,08)	4521
Kation basa (Base cation), meq/100g					
- Ca ²⁺	0,99 ^b (0,16)	1,47 ^{ab} (0,24)	1,56 ^{ab} (0,42)	1,87 ^a (0,19)	13,76
- Mg ²⁺	0,48 (0,05)	0,71 (0,13)	0,67 (0,22)	0,80 (0,11)	2,97
- K ⁺	0,16 (0,04)	0,21 (0,04)	0,21 (0,03)	0,21 (0,08)	8,6
- Na ⁺	0,11 (0,01)	0,1 (0,01)	0,09 (0,03)	0,15 (0,11)	0,22
KTK (CEC), meq/100g	11,23 ^b (0,39)	11,65 ^{ab} (0,1)	12,23 ^{ab} (0,95)	12,77 ^a (0,54)	10,81
KB (BS), %	15,33 ^b (1,15)	21,33 ^{ab} (1,15)	20,67 ^{ab} (4,04)	23,67 ^a (0,58)	>100
Kation asam (Acid cations), meq/100g					
- Al ³⁺	3,25 (0,13)	2,65 (0,42)	2,63 (0,50)	2,56 (0,48)	0
- H ⁺	0,72 ^a (0,02)	0,48 ^b (0,03)	0,46 ^b (0,07)	0,48 ^b (0,08)	0

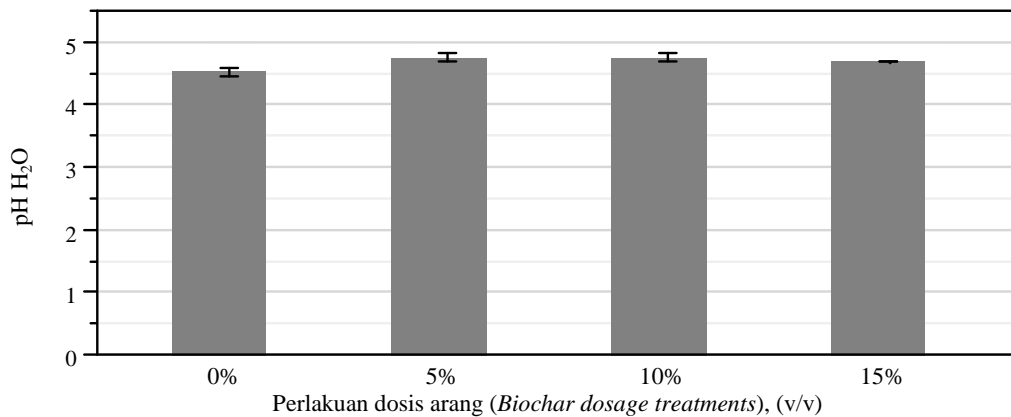
Keterangan (Remarks):

1. Nilai rerata di dalam satu baris dalam kolom yang berbeda diikuti huruf yang berbeda adalah berbeda nyata pada taraf 5% menurut uji HSD-Tukey Kramer, $p < 0,05$, $n = 3$ (Mean value in the same row in the different columns followed by the different letters are significantly different at 5% level according to Tukey-Kramer HSD test)
2. Angka yang ditunjukkan di dalam tanda kurung adalah simpangan baku (Numbers shown in parentheses are standard deviations); KB (BS) = kejenuhan basa (base saturation); NC = Metode NC Analyzer (NC analyzer methods)

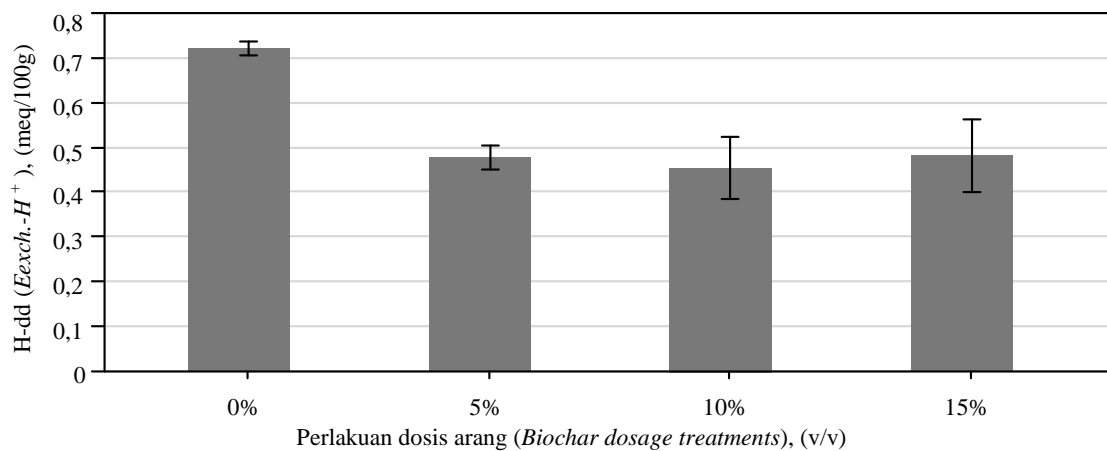
Reaksi tanah (pH H₂O) pada tanaman *M. montana* setelah enam bulan penanaman dengan aplikasi dosis arang 5%, 10%, dan 15% meningkat secara nyata bila dibandingkan dengan perlakuan dosis arang 0% (tanpa arang), yaitu dari pH 4,53 pada perlakuan dosis arang 0%, naik sebesar 0,24 satuan pH ke pH 4,77 pada perlakuan dosis arang 5%, 10% dan naik sebesar 0,17 satuan pH ke pH 4,70 pada perlakuan dosis arang 15%. Nilai pH tanah di antara perlakuan dosis arang 5%, 10%, dan 15% tidak berbeda nyata secara statistik (Tabel 2 dan Gambar 3). Sementara pH H₂O pada bahan arang yang digunakan berada pada pH 8,3 (Tabel 2).

Sebaliknya, konsentrasi kation asam

H⁺-dd (dapat dipertukarkan) tanah pada tanaman *M. montana* setelah enam bulan penanaman mengalami penurunan secara nyata dengan perlakuan dosis arang 5%, 10%, dan 15% bila dibandingkan dengan perlakuan tanpa arang (0%). Konsentrasi H⁺-dd tanah menurun masing-masing sebesar 0,24; 0,26; dan 0,24 meq/100 g pada perlakuan dosis arang 5%, 10%, dan 15% secara berurutan, yaitu dari konsentrasi 0,72 meq/100 g pada perlakuan 0% ke 0,48; 0,46; dan 0,48 meq/100 g pada perlakuan dosis arang 5%, 10%, dan 15% secara berurutan (Tabel 2 dan Gambar 4). Konsentrasi kation H-dd pada bahan arang yang digunakan tidak terdeteksi (0 meq/100 g) (Tabel 2).



Gambar (Figure) 3. Perbandingan pengaruh perlakuan aplikasi empat level dosis arang terhadap perubahan pH H₂O tanah pada tanaman *M. montana* umur 6 bulan (The comparison of effect of four dosage level treatments of biochar on the change of soil pH concentrations at six month old *M. montana* plantation)

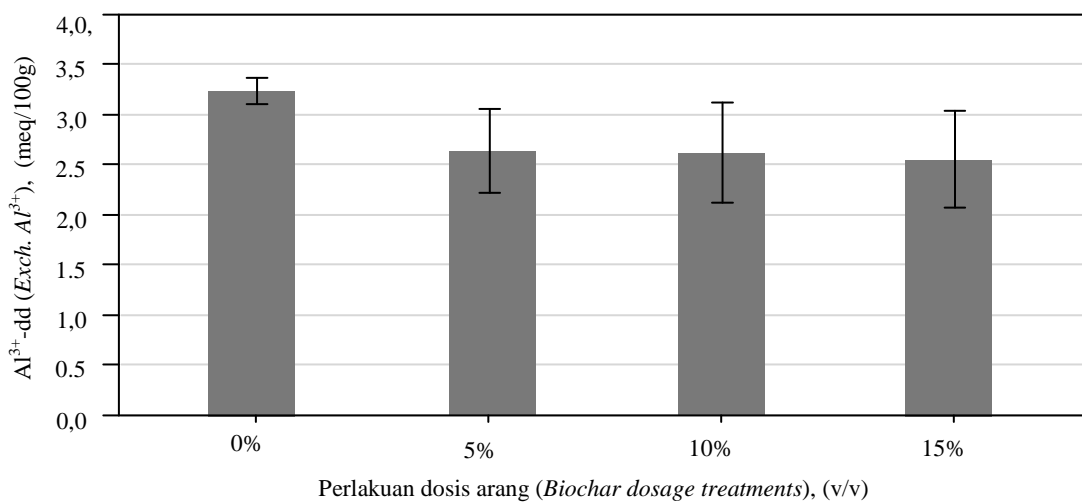


Gambar (Figure) 4. Perbandingan pengaruh aplikasi empat level dosis arang terhadap perubahan konsentrasi H-dd tanah pada tanaman *M. montana* umur enam bulan (The comparison of effect of four dosage level treatments of biochar on the change of exchangeable H⁺ concentrations of soil at six-month old *M. montana* plantation)

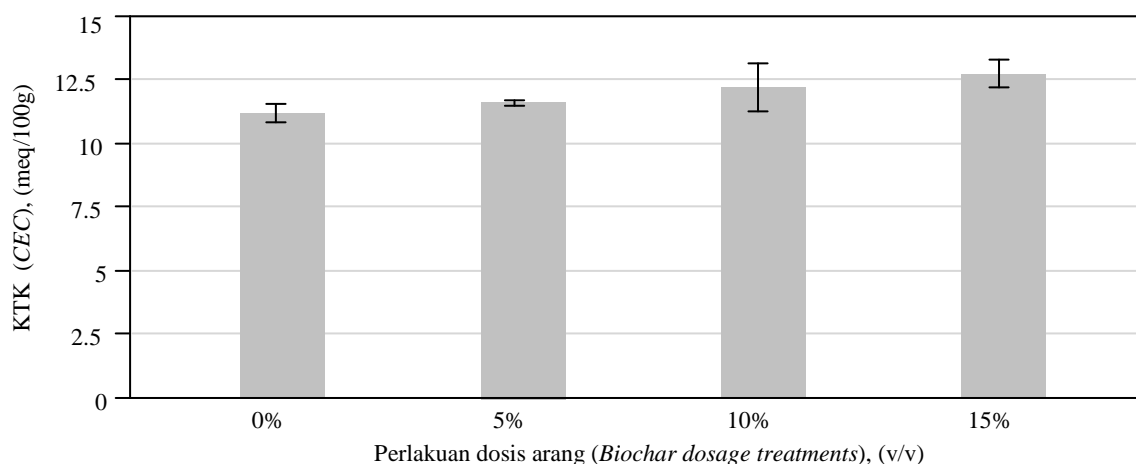
Sama halnya seperti kation H-dd tanah, konsentrasi kation Al^{3+} -dd tanah pada tanaman *M. montana* setelah enam bulan penanaman cenderung mengalami penurunan berdasarkan naiknya level dosis arang yang ditambahkan (5%, 10%, dan 15%) walaupun tidak berbeda nyata bila dibandingkan dengan perlakuan tanpa arang (0%). Konsentrasi Al^{3+} tanah menurun masing-masing sebesar 0,60; 0,62; 0,69 meq/100 g dengan perlakuan dosis arang 5%, 10% dan 15% secara berurutan, yaitu dari 3,25 meq/100 g pada perla-

kuan arang 0% (tanpa arang) ke 2,65 meq/100 g, 2,63 meq/100 g, dan 2,56 meq/100g pada perlakuan dosis arang 5%, 10%, dan 15% secara berurutan (Tabel 2 dan Gambar 5). Konsentrasi kation Al^{3+} -dd pada bahan arang yang digunakan tidak terdeteksi (0 meq/100 g) (Tabel 2).

Konsentrasi kapasitas tukar kation (KTK) tanah pada tanaman *M. montana* umur enam bulan meningkat secara linier dengan meningkatnya aplikasi level dosis arang yang ditambahkan (Gambar 6).



Gambar (Figure) 5. Perbandingan pengaruh aplikasi empat level dosis arang terhadap perubahan konsentrasi Al^{3+} -dd tanah pada tanaman *M. montana* umur enam bulan (The comparison of effect of four dosage level treatments of biochar on the change of exchangeable Al^{3+} concentrations of soil at six-month old *M. montana* plantation)



Gambar (Figure) 6. Perbandingan pengaruh aplikasi empat level dosis arang terhadap perubahan konsentrasi KTK tanah pada tanaman *M. montana* pada umur enam bulan (The comparison of effect of four dosage level treatments of biochar on the change of soil cation exchange capacity (CEC) concentrations at six-month old *M. montana* plantation)

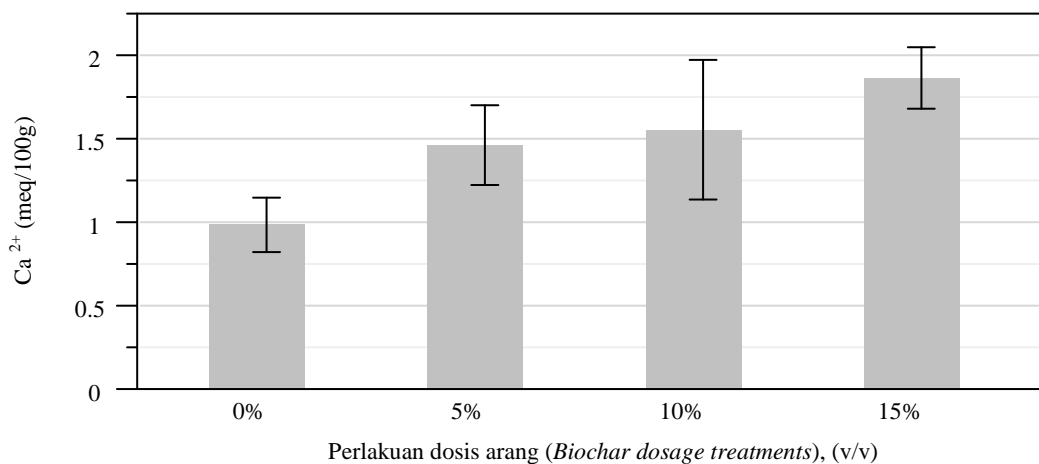
Kapasitas tukar kation tanah meningkat secara nyata pada perlakuan dosis arang 15%, sementara pada perlakuan dosis arang yang lebih rendah, 5% dan 10% tidak meningkat secara nyata, namun lebih baik bila dibandingkan dengan perlakuan dosis arang 0%. Konsentrasi KTK tanah meningkat masing-masing sebesar 0,42; 1,0; dan 1,54 satuan pada perlakuan dosis arang 5%, 10%, dan 15% secara berurutan, yaitu dari konsentrasi 11,23 meq/100 g pada perlakuan dosis arang 0% ke konsentrasi 11,65 meq/100 g, 12,23 meq/100 g, dan 12,77 meq/100 g pada perlakuan dosis arang 5%, 10%, dan 15% secara berurutan (Tabel 2 dan Gambar 7). Sementara konsentrasi KTK pada bahan arang sebelum diaplikasikan ke dalam tanah sebesar 10,81 meq/100 g, lebih rendah bila dibanding dengan konsentrasi KTK tanah dengan perlakuan arang 0%, yakni 11,23 meq/100 g.

Konsentrasi kation basa Ca^{2+} -dd tanah pada tanaman *M. montana* umur enam bulan meningkat bervariasi, baik secara tidak nyata maupun secara nyata dan secara linier berdasarkan naiknya level dosis arang yang ditambahkan.

Konsentrasi kation basa Ca^{2+} tanah meningkat secara nyata pada perlakuan dosis 15%, hampir dua kali lebih besar bila dibandingkan dengan perlakuan dosis

arang 0% dan meningkat tidak secara nyata pada perlakuan dosis arang 5% dan 10%, hampir satu setengah kali lebih besar bila dibandingkan dengan perlakuan dosis arang 0%. Konsentrasi Ca^{2+} naik masing-masing sebesar 0,48; 0,57; dan 0,88 satuan pada perlakuan dosis arang 5%, 10%, dan 15% secara berurutan, yaitu dari konsentrasi 0,99 meq/100 g pada perlakuan dosis arang 0% ke konsentrasi 1,47; 1,51; dan 1,87 meq/100 g pada perlakuan dosis arang 5%, 10%, dan 15% secara berurutan. Sementara konsentrasi Ca^{2+} -dd pada bahan arang sebesar 13,76 meq/100 g (Tabel 2) lebih besar sekitar 14 kali bila dibandingkan konsentrasi pada perlakuan dosis arang 0%.

Sama halnya dengan kation Ca^{2+} -dd, konsentrasi kation basa Mg^{2+} -dd tanah meningkat walaupun tidak secara nyata dan linier berdasarkan naiknya level dosis arang yang ditambahkan. Konsentrasi Mg^{2+} -dd naik masing-masing sebesar 0,23; 0,19; dan 0,32 satuan pada perlakuan dosis arang 5%, 10%, dan 15% secara berurutan, yaitu dari konsentrasi 0,48 meq/100 g pada perlakuan dosis arang 0% ke konsentrasi 0,71; 0,67; dan 0,80 meq/100 g pada perlakuan dosis arang 5%, 10%, dan 15% secara berurutan. Sementara konsentrasi kation Mg^{2+} -dd pada bahan arang sebesar 2,97

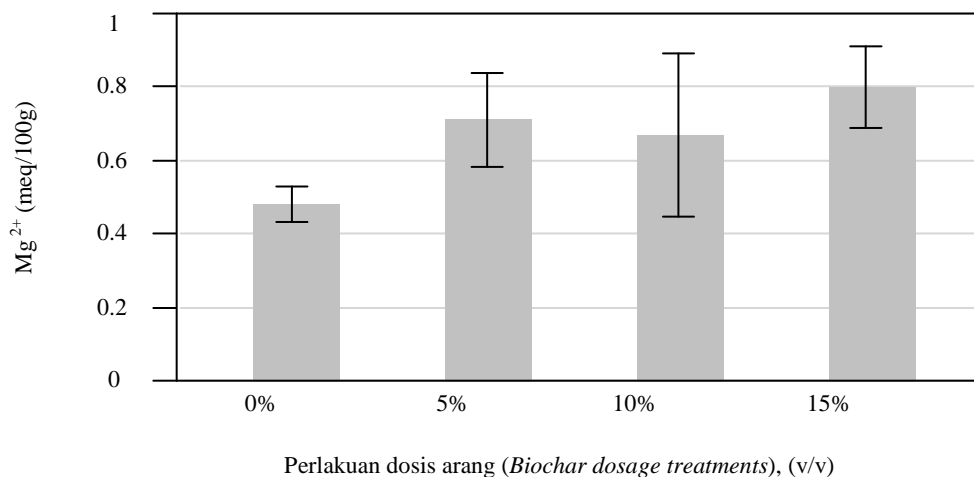


Gambar (Figure) 7. Perbandingan pengaruh aplikasi empat level dosis arang terhadap perubahan konsentrasi kation-kation Ca^{2+} tanah pada tanaman *M. montana* pada umur enam bulan (The comparison of effect of four dosage level treatments of biochar on the change of soil cation Ca^{2+} concentrations at six-month old *M. montana* plantation)

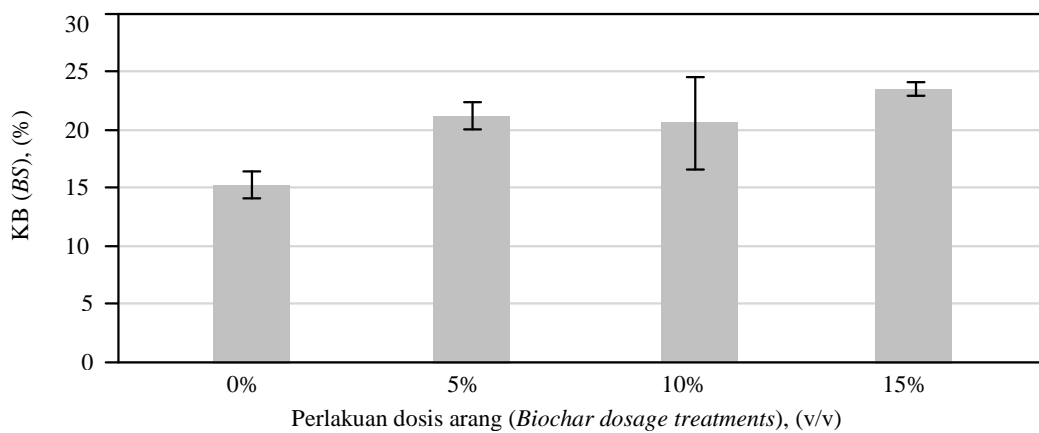
meq/100 g (Tabel 2 Gambar 8), lima kali lebih besar bila dibandingkan dengan konsentrasi kation Mg^{2+} -dd tanah pada perlakuan dosis arang 0%.

Konsentrasi kejenuhan basa (KB) tanah meningkat walaupun tidak secara linier dengan meningkatnya aplikasi level dosis arang yang ditambahkan. KB tanah meningkat secara nyata pada perlakuan dosis arang 15%, tetapi tidak meningkat secara nyata pada perlakuan dosis arang yang lebih rendah, yaitu 5% dan 10%, namun lebih baik bila dibandingkan dengan perlakuan dosis arang 0%. KB tanah meningkat masing-masing sebesar 6,0; 5,34;

dan 8,34% pada perlakuan dosis arang 5%, 10%, dan 15% secara berurutan, yaitu dari konsentrasi 15,33% pada perlakuan dosis arang 0% (tanpa arang) ke konsentrasi 21,33; 20,67 dan 23,67% pada perlakuan dosis arang 5%, 10%, dan 15% secara berurutan (Tabel 2 dan Gambar 9). Sementara nilai KB pada bahan arang sebelum diaplikasikan ke dalam tanah adalah lebih besar dari 100% (Tabel 2) yang jauh lebih besar bila dibandingkan dengan nilai konsentrasi KB pada perlakuan dosis arang 5%, 10%, dan 15%.



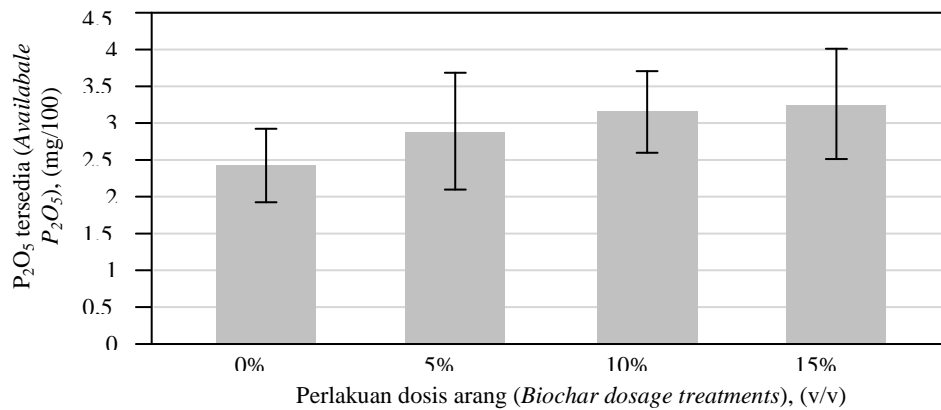
Gambar (Figure) 8. Perbandingan pengaruh aplikasi empat level dosis arang terhadap perubahan konsentrasi kation Mg^{2+} tanah pada tanaman *M. montana* pada umur enam bulan (*The comparison of effect of four dosage level treatments of biochar on the change of soil cation Mg^{2+} concentrations at six-month old *M. montana* plantation*)



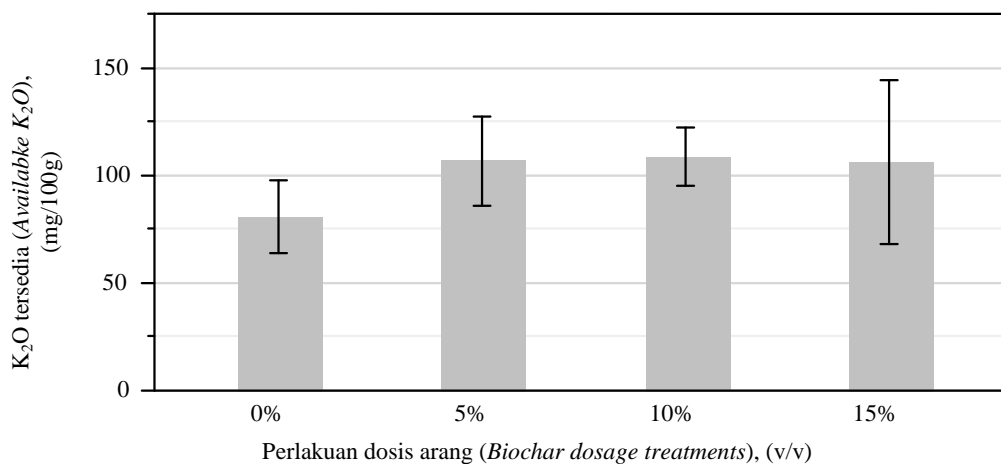
Gambar (Figure) 9. Perbandingan pengaruh perlakuan aplikasi empat level dosis arang terhadap perubahan prosentase Kejenuhan basa (KB) tanah pada tanaman *M. montana* umur enam bulan (*The comparison of effect of four dosage level treatments of biochar on the change of soil base saturation percentage at six-month old *M. montana* plantation*)

Konsentrasi P tersedia (P_2O_5) tanah pada tanaman *M. montana* umur enam bulan meningkat secara linier walaupun tidak secara nyata berdasarkan naiknya level dosis arang yang ditambahkan. Konsentrasi P tersedia naik masing-masing sebesar 0,47; 0,74; dan 0,84 satuan pada perlakuan dosis arang 5%, 10%, dan 15%, yaitu dari konsentrasi 2,43 ppm pada perlakuan dosis arang 0% ke konsentrasi 2,90; 3,17; 3,27 ppm pada perlakuan dosis arang 5%, 10%, dan 15%. Sementara konsentrasi P tersedia pada bahan arang sebesar 54 ppm (Tabel 2, Gambar 10), 22 kali lebih besar bila dibandingkan konsentrasi P tersedia tanah dengan perlakuan dosis arang 0%.

Konsentrasi K tersedia (K_2O) tanah pada tanaman *M. montana* umur enam bulan meningkat tidak secara nyata dan linier berdasarkan naiknya level dosis arang yang ditambahkan. Konsentrasi K tersedia naik masing-masing sebesar 25,77; 28,0; 25,37 satuan pada perlakuan dosis arang 5%, 10%, dan 15%, yaitu dari konsentrasi 81,33 ppm pada perlakuan dosis arang 0% ke konsentrasi 107,0; 109,33; 106,70 ppm pada perlakuan dosis arang 5%, 10%, dan 15% secara berurutan. Sementara konsentrasi K tersedia pada bahan arang sebesar 54 ppm (Tabel 2, Gambar 11), 22 kali lebih besar bila dibandingkan konsentrasi P tersedia tanah dengan perlakuan dosis arang 0%.



Gambar (Figure) 10. Perbandingan pengaruh aplikasi empat level dosis arang terhadap perubahan konsentrasi P_2O_5 tersedia tanah pada tanaman *M. montana* umur enam bulan (The comparison of effect of four dosage level treatments of biochar on the change of soil available P_2O_5 concentrations at six-month old *M. montana* plantation)



Gambar (Figure) 11. Perbandingan pengaruh aplikasi empat level dosis arang terhadap perubahan konsentrasi K_2O tersedia tanah pada tanaman *M. montana* umur 6 bulan (The comparison of effect of four dosage level treatments of biochar on the change of soil available K_2O concentrations at six-month old *M. montana* plantation)

Hasil penelitian terhadap sifat fisik dan kimia tanah setelah aplikasi arang pada tanaman *M. montana* setelah enam bulan penanaman pada tipe tanah Latosol secara ringkas menunjukkan bahwa aplikasi dosis arang 5% dapat meningkatkan pH tanah secara nyata, yaitu sebesar 0,24 satuan dan sebaliknya dapat menurunkan konsentrasi kemasaman H^+ -dd tanah secara nyata, yaitu sebesar 0,26 satuan dan konsentrasi Al^{3+} -dd walaupun tidak secara nyata, yaitu sebesar 0,60 satuan, bila masing-masing dibandingkan dengan perlakuan dosis 0%. Kemasaman tanah cenderung menurun tidak secara linier pada H^+ dan secara linier pada Al^{3+} berdasarkan naiknya level dosis arang yang ditambahkan. Sementara aplikasi dosis arang 15% dapat meningkatkan KTK, Ca^{2+} , dan KB tanah secara nyata. KTK dan Ca^{2+} tanah meningkat secara linier sementara KB tanah tidak meningkat secara linier menurut naiknya level dosis arang yang ditambahkan (5%, 10%, dan 15%). Kation basa Mg^{2+} dan K-tersedia cenderung meningkat walaupun tidak secara nyata dan linier menurut naiknya level dosis arang yang ditambahkan. Sementara konsentrasi P-tersedia cenderung meningkat secara linier walaupun tidak secara nyata menurut naiknya level dosis arang yang ditambahkan (5%, 10%, dan 15%).

IV. PEMBAHASAN

A. Pengaruh Aplikasi Dosis Arang terhadap Pertumbuhan *M. montana*

Aplikasi dosis arang 5% (v/v) memberikan pengaruh yang lebih baik terhadap pertumbuhan awal tanaman *M. montana* setidaknya pada umur enam bulan pertama setelah ditanam. Kemungkinan besar aplikasi dosis arang 5% lebih mudah mengalami keseimbangan dengan tanah sehingga lebih adaptif dalam merangsang pertumbuhan awal tanaman *M. montana*. Sementara aplikasi dosis arang yang lebih tinggi (10% dan 15%) diduga butuh

waktu yang relatif lebih lama untuk mencapai keseimbangan dengan tanah.

Hasil penelitian Siregar *et al.* (2003) menunjukkan bahwa efek arang terhadap parameter pertumbuhan pada tanaman *Acacia mangium* umur enam bulan pada tipe tanah Acrisols di rumah kaca tidak berpengaruh nyata. Tidak adanya respon pertumbuhan pada perlakuan yang diterapkan dapat disebabkan oleh faktor kesuburan tanah dalam mendukung pertumbuhan tanaman atau faktor waktu pengamatan perubahan status kesuburan tanah belum efektif pada saat tanaman berumur enam bulan. Sementara hasil penelitian efek arang terhadap pertumbuhan tanaman *Shorea leprosula* umur 26 bulan pada tipe tanah Ferralsols dan *Pinus merkusii* pada umur 25 bulan pada tipe tanah Nitisols tidak meningkatkan pertumbuhan tanaman secara statistik, sedangkan efek arang terhadap pertumbuhan *A. mangium* umur 26 bulan pada tipe tanah Acrisols berpengaruh nyata. Siregar (2005) merekomendasikan dosis optimum arang untuk *A. mangium*, *P. merkusii*, dan *S. leprosula* masing-masing secara berurutan adalah 15%, 10%, dan 2,5% (v/v).

B. Pengaruh Aplikasi Arang terhadap Perubahan Sifat Kesuburan Tanah pada Tanaman *M. montana*

1. Perubahan Sifat pH H_2O , H^+ -dd, Al^{3+} -dd Tanah

Tampak bahwa aplikasi arang dapat meningkatkan pH tanah secara signifikan dengan perbedaan sebesar 0,24; 0,24, dan 0,17 satuan pH secara berurutan pada level 5%, 10%, dan 15% dari perlakuan dosis arang 0%, walaupun kenaikan pH tanah tidak bersifat linier berdasarkan naiknya level dosis arang yang ditambahkan pada tanaman *M. montana* setelah enam bulan penanaman pada lahan tipe tanah Latosol yang bertekstur liat. Tidak liniernya kenaikan nilai pH kemungkinan besar disebabkan oleh nilai pH tanah asal pada awalnya tidak cukup tinggi disamping sifat *buffer*/penyangga yang dimiliki

setiap tanah mineral dimana fluktuasi kenaikan pH larutan tanah hanya mengalami sedikit pergeseran dengan penambahan bahan arang pada tanah, sebaliknya peningkatan pH tanah berpengaruh terhadap menurunnya konsentrasi kation H^+ -dd secara signifikan dengan perbedaan sebesar 0,24; 0,26; dan 0,24 meq/100g secara berurutan pada level 5%, 10%, dan 15% dari perlakuan arang 0%. Ion H^+ -dd tanah yang bersifat toksik bagi akar merupakan penyebab langsung rendahnya pH tanah. Aplikasi arang ternyata juga dapat menurunkan kadar Al^{3+} -dd larutan tanah yang bersifat toksik terhadap sistem perakaran tanaman. Kation Al^{3+} -dd tanah merupakan penyebab tidak langsung kemasaman tanah setelah reaksi hidrolisis pada sistem larutan tanah. Kation asam Al^{3+} menurun secara linier walau tidak signifikan secara statistik dengan meningkatnya level dosis arang, yaitu sebesar beda 0,60; 0,62; dan 0,69 meq/100g secara berurutan pada level 5%, 10%, dan 15% dari perlakuan arang 0%.

Temuan meningkatnya pH dan menurunnya H^+ dan Al^{3+} pada hasil penelitian ini relatif konsisten dengan hasil penelitian Cochrane dan Sanchez (1980) dan Mbagwu dan Piccolo (1997) yang menunjukkan bahwa aplikasi arang dapat meningkatkan pH dan mengurangi kejenuhan Al (aluminium) pada tanah-tanah masam yang seringkali merupakan kendala utama dalam hal produktivitas tanaman pada tanah yang sangat lapuk di daerah tropis basah. Penambahan arang dapat meningkatkan pH tanah dengan berbagai tekstur hingga 1,2 unit pH dari pH 5,4 sampai pH 6,6 (Mbagwu dan Piccolo, 1997). Efek arang masih terdeteksi tiga tahun setelah aplikasi arang di mana nilai pH pada plot tanpa arang dan plot aplikasi arang adalah 5,8 dan 6,3 secara berurutan (Kishimoto dan Sugiura, 1985). Menurut Tryon (1948) dalam Glaser *et al.* (2002), pH tanah pada tanah bertekstur pasir (*sandy soil*) dan tanah berlempung (*loamy soil*) meningkat lebih besar

dibandingkan pada tanah berliat (*clayey soil*) dengan aplikasi arang.

Peningkatan pH dalam kaitannya dengan penambahan *biochar* pada tanah masam (*acid soils*) disebabkan oleh peningkatan konsentrasi oksida-oksida logam alkali (misalnya Ca^{2+} , Mg^{2+} , dan K^+) yang berasal dari mineral-mineral pada komponen abu dari *biochar* dan dapat mengurangi konsentrasi Al^{3+} terlarut dalam tanah (Steiner *et al.*, 2007). Komponen abu dari *biochar* cenderung bersifat basa (alkalin) dan tingkat alkalinitasnya tergantung pada suhu pirolisis dan sumber biomassa *biochar* itu sendiri. Kadar abu meningkat ketika hasil produksi pirolisis/karbonisasi biomassa menjadi arang menurun (Steiner, 2006).

Walaupun secara konvensional arang bukanlah merupakan suatu pupuk, menurut Major (2009), penggunaan arang pada tanah dapat memperbaiki produksi hasil pertanian dan kesuburan, yakni melalui peningkatan pH tanah dan daya retensi hara arang yang jauh lebih besar dibanding bahan organik lainnya, sehingga unsur hara tanah tersedia. Peningkatan pH tanah merupakan kontribusi paling penting dalam hal perbaikan kualitas tanah. Nilai pH tanah mempengaruhi ketersediaan relatif dari unsur-unsur hara. Pada pH tanah rendah, toksisitas Al dapat timbul dan menyebabkan kerusakan terhadap pertumbuhan tanaman. Toksisitas ion Al merupakan problem utama pada tanah-tanah kritis, oleh karena itu arang dapat digunakan sebagai solusi yang baik untuk meredamnya (Steiner, 2006; Major, 2009).

Nilai pH pada bahan arang sangat tergantung pada temperatur pirolisis dan umur bahan arang yang digunakan setelah proses pirolisis. Nilai pH arang berada pada kisaran pH 11 apabila arang masih segar (belum terlapuk) dan temperatur pirolisis lebih tinggi dari 450-500⁰C. Apabila arang sudah mengalami pelapukan dan terpapar oleh uap selama dan sesudah proses pirolisis, nilai pH arang

akan berada pada kisaran pH 5-8 (Ammonette, 2010).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa aplikasi arang pada tanah berpengaruh terhadap peningkatan pH tanah dan penurunan konsentrasi ion Al^{3+} dan H^+ . Peningkatan pH tanah menyebabkan unsur hara menjadi lebih tersedia sehingga pertumbuhan tanaman semakin baik. Sementara penurunan konsentrasi ion Al^{3+} dan H^+ berkaitan erat dengan menurunnya sifat toksik ion Al^{3+} dan H^+ terhadap akar tanaman pada larutan tanah, sehingga proses-proses absorpsi hara oleh akar tanaman tidak terganggu.

2. Perubahan Sifat KTK, Ca^{2+} -dd, Mg^{2+} -dd, K^+ -dd, dan KB Tanah

Konsentrasi kapasitas tukar kation (KTK) tanah cenderung naik secara linier dengan naiknya dosis aplikasi bahan arang, yakni untuk masing-masing dosis 5%, 10%, dan 15% berturut-turut dengan perbedaan sebesar 0,42; 1,0; dan 1,54 meq/100 g dari perlakuan tanpa arang dan aplikasi dosis arang 15% meningkatkan KTK tanah secara nyata.

Kapasitas tukar kation merupakan salah satu dari banyak faktor yang terkait dalam hal kesuburan tanah dan indikator yang baik untuk mengetahui kualitas dan produktivitas tanah. Semakin tinggi KTK tanah semakin banyak kation-kation basa yang dapat ditahan oleh tanah, sehingga semakin besar kemungkinan tanah akan memiliki tingkat kesuburan yang lebih tinggi, sebaliknya jika KTK dalam tanah rendah, maka tanah tidak dapat menahan unsur-unsur hara dengan baik, sehingga unsur-unsur hara dengan mudah tercuci oleh air (Major *et al.*, 2009). KTK menyangga fluktuasi dalam ketersediaan unsur hara dan pH tanah. Kapasitas tukar kation didefinisikan sebagai ketersediaan jumlah muatan negatif (anion) pada bagian permukaan koloid liat atau bahan organik di dalam tanah untuk menjerap/mengikat ion muatan positif (kation-kation), semisal kation basa (*alkaline-forming cation*) K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , NH_4^+ , dan kation

asam (*acidic-forming cation*) H^+ dan Al^{3+} , melalui gaya elektrostatis (*electrostatic forces*). Unsur-unsur hara dalam bentuk ion/partikel bermuatan yang sederhana (kation basa) merupakan nutrisi esensial bagi tanaman dan mudah diserap melalui akar tanaman. Liat dan bahan organik tanah mempunyai muatan negatif yang dapat menahan dan melepas unsur-unsur hara yang bermuatan positif. Kation-kation dijerap (*adsorbed*) pada permukaan liat atau humus. Muatan anion yang bersifat statis pada permukaan liat maupun humus menjaga unsur-unsur hara dari terjadinya proses pencucian dan menahan unsur-unsur hara, sehingga tersedia bagi akar tanaman maupun mikroorganisma. Akar tanaman dan mikroorganisma mendapat unsur hara melalui proses pertukaran ion-ion hidrogen bebas (H^+). Ion hidrogen bebas H^+ tersebut mengisi/menempati daerah pertukaran negatif dan membiarkan unsur-unsur hara kation diserap oleh akar tanaman dan mikroorganisma (Astera, 2007). Bahan organik seperti halnya arang dan beberapa tipe partikel liat dalam tanah dapat menahan unsur-unsur hara yang bermuatan positif, karena bahan organik maupun liat tanah mempunyai muatan negatif pada daerah permukaannya (*surface site*) dan muatan muatan yang positif akan tertarik. Partikel liat hampir selalu mempunyai muatan negatif, sehingga partikel liat menarik dan menahan unsur hara yang bermuatan positif dan non unsur hara. Bahan organik termasuk arang mempunyai muatan positif dan negatif, oleh karena itu bahan organik ataupun arang dapat menahan kation dan anion (Astera, 2007).

Kemampuan tanah dalam hal menahan kation-kation yang dapat dipertukarkan (KTK) dapat meningkat dengan aplikasi arang (McHenry, 2009), sehingga unsur-unsur hara berada dalam bentuk yang lebih tersedia bagi tanaman jika dibandingkan dengan aplikasi bahan organik lainnya pada tanah yang sama (Sombrink *et al.*, 1993). Bahkan arang mempunyai kemampuan yang lebih besar dari-

pada bentuk-bentuk bahan organik lainnya dalam hal menjerap kation-kation per unit karbon oleh karena luas permukaan, muatan permukaan, dan kerapatan muatan yang lebih besar (Liang *et al.*, 2006). Setelah diaplikasikan pada tanah, permukaan *biochar* secara bertahap menjadi teroksidasi dan dengan demikian kapasitas tukar kation arang menjadi meningkat (Major, 2009). *Biochar* menahan unsur-unsur hara dalam tanah secara langsung melalui muatan negatif yang berada pada bidang permukaan arang. Muatan negatif dapat menyangga (*buffer*) kemasaman dalam tanah sebagaimana fungsi bahan organik secara umum. Di samping itu, arang dapat menarik dan menahan unsur hara tanah, maka arang berpotensi mengurangi kebutuhan pupuk. Dengan demikian, biaya pemupukan diminimalisasi dan pupuk (organik atau anorganik) ditahan dalam tanah dalam waktu yang lama.

Menarik untuk diperhatikan bahwa konsentrasi KTK arang sebelum ditambahkan ke dalam tanah pada awalnya adalah rendah, bahkan lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi KTK tanah pada kontrol (0% arang). Namun, setelah arang diaplikasikan, konsentrasi KTK tanah meningkat berdasarkan naiknya level dosis arang yang ditambahkan. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa apabila *biochar* terpapar/terkena O₂ dan air, reaksi-reaksi oksidasi yang spontan meningkat yang kemungkinan besar disebabkan oleh aktivitas mikroba, sehingga menghasilkan konsentrasi KTK yang sangat tinggi (Cheng *et al.*, 2006, 2008; Liang *et al.*, 2006). Pada pH yang sangat rendah, nilai KTK bahan organik pada dasarnya adalah kecil atau nol dan KTK meningkat dengan meningkatnya pH tanah, demikian juga halnya dengan arang tanpa kecuali, KTK bahan arang adalah nol (*point of zero net charge/* PZNC), tergantung pada suhu berapa arang diproduksi (Lehmann, 2007). KTK *biochar* adalah sangat rendah pada suhu pirolisis yang rendah dan meningkat secara signifikan pada suhu tinggi (Leh-

mann, 2007). Sementara *Biochar* yang masih segar/yang baru diproduksi mempunyai KTK lebih kecil dibanding KTK pada bahan organik tanah (Cheng *et al.*, 2006, 2008; Lehmann, 2007).

Tampak bahwa aplikasi arang dapat meningkatkan Ca²⁺ dengan perbedaan sebesar 0,48; 0,57; dan 0,88 meq/100 g secara berurutan pada level dosis arang 5%, 10%, dan 15% dari perlakuan dosis arang 0% (tanpa arang) dan meningkat secara linier berdasarkan naiknya level dosis arang yang ditambahkan. Konsentrasi kation Ca²⁺-dd tanah meningkat secara signifikan pada perlakuan dosis arang 15%, yaitu hampir dua kali lebih besar bila dibandingkan dengan perlakuan dosis arang 0% (tanpa arang). Sementara kation Mg²⁺-dd tanah juga cenderung meningkat walaupun tidak signifikan dengan naiknya level dosis arang yang ditambahkan, yaitu dengan perbedaan sebesar 0,23; 0,19; dan 0,32 meq/100 g secara berurutan pada level dosis arang 5%, 10%, dan 15% dari perlakuan dosis arang 0% (tanpa arang). Perihal tidak liniernya kenaikan kadar kation basa Mg²⁺-dd, kemungkinan besar disebabkan cadangan unsur-unsur basa tersebut pada tanah asal pada awalnya tidak cukup tinggi.

Peningkatan konsentrasi kation Ca²⁺, Mg²⁺ tanah setelah aplikasi arang, di samping karena kation-kation larutan tanah dapat diretensi oleh kehadiran arang di dalam tanah juga didasarkan pada fakta bahwa di dalam *biochar* itu sendiri terdapat komponen abu residu hasil karbonisasi/pirolisis yang menjadi sumber dari kation-kation basa Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺. Sebagian besar kation-kation tersebut tidak terikat oleh gaya elektrostatis, tetapi hadir sebagai garam terlarut dan karenanya mudah tersedia untuk diserap oleh tanaman (Glaser *et al.*, 2002). Kandungan abu adalah massa dari residu setelah proses karbonisasi/pirolisis biomasa. *Biochar* biasanya mengandung lebih 70% C, tetapi juga mengandung elemen lainnya, seperti O, H, N, S, P, Si, kation basa, dan logam-logam berat (Goldberg, 1985;

Preston and Schmidt, 2006). Namun demikian, komposisi dan ketersediaan hara pada *biochar* tergantung pada sifat bahan baku maupun kondisi pirolisis pada saat diproduksi (Chan and Xu, 2009).

Berdasarkan Tabel 2, konsentrasi Ca^{2+} dan Mg^{2+} dalam bahan arang jauh lebih tinggi dibanding dengan yang terdapat di dalam tanah. Dari fakta ini dapat dinyatakan bahwa arang selain dapat berfungsi sebagai *soil conditioner* yang dapat meretensi hara, sehingga mengurangi hilangnya hara oleh karena terjadinya proses pencucian (*leaching*) di dalam tanah, arang juga dapat bertindak sebagai sumber hara/pupuk itu sendiri. Walaupun demikian, *biochar* sepertinya lebih berperan sebagai *soil conditioner* dan sebagai pembawa perubahan/transformasi terhadap hara daripada sebagai sumber utama hara (Glaser *et al.*, 2002; Lehmann *et al.*, 2003). Hasil penelitian Tryon (1948) dalam DeLuca *et al.* (2009) juga menemukan peningkatan jumlah basa yang dapat dipertukarkan (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , dan Na^+) setelah penambahan 45% (v/v) arang dari kayu keras (*hardwood*) dan konifer (*conifer*) pada tanah liat berpasir. Temuan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa aplikasi arang dapat meningkatkan kation-kation basa Ca^{2+} , Mg^{2+} tanah pada hutan tanaman *M. montana* umur enam bulan pada lahan tipe tanah Latosol yang bertekstur liat. Meningkatnya kation-kation Ca^{2+} , Mg^{2+} , dan K^+ di dalam tanah yang merupakan unsur hara esensial bagi pertumbuhan tanaman, maka serapan hara oleh tanaman akan meningkat dan pertumbuhan tanaman akan membaik.

Kejenuhan basa (KB) tanah meningkat secara nyata pada perlakuan dosis arang 15% dan meningkat masing-masing dengan perbedaan sebesar 6,0%, 5,34%, dan 8,34% pada perlakuan dosis arang 5%, 10%, dan 15% secara berurutan dari perlakuan dosis arang 0%. Berdasarkan data pada Tabel 2, kompleks pertukaran kation lebih banyak ditempati terutama oleh kation Ca^{2+} daripada kation lainnya, seperti Mg^+ . Kejenuhan basa tanah dapat

didefinisikan sebagai persen kompleks/daerah/situs pertukaran kation pada permukaan koloid liat atau bahan organik yang ditempati oleh kation-kation basa. Peningkatan persen KB tanah merupakan efek dari meningkatnya konsentrasi kation-kation basa (Ca^{2+} , Mg^{2+} , dan K^+) dan merupakan indikator meningkatnya kesuburan kimia tanah oleh aplikasi arang. Peningkatan pH berdampak terhadap meningkatnya kejenuhan basa. Kejenuhan basa meningkat 10 kali lipat lebih tinggi setelah amandemen arang pada tanah bertekstur pasir (*sandy soil*) dan tanah berlempung (*loamy soil*) daripada tanah berliat (*clayey soil*) (Tryon, 1948 dalam Glaser *et al.*, 2002).

3. Perubahan Sifat P dan K Tersedia

Walaupun tidak berbeda secara statistik, konsentrasi P tersedia (P_2O_5 tersedia) cenderung menaik menurut naiknya dosis aplikasi arang dari 2,43 ppm (0%) menjadi 3,27 ppm (15%). Sementara konsentrasi P tersedia pada bahan arang sebesar 54 ppm, jauh lebih besar bila dibandingkan dengan perlakuan empat level dosis arang pada tanaman *M. montana*. Kenaikan konsentrasi P tersedia yang tidak optimum dengan aplikasi arang diduga karena pH tanah belum mencapai pH netral, sehingga P tersedia tidak berada pada kondisi terlarut dalam tanah. Ketersediaan P maksimum biasanya berada pada pH sekitar 6 dan 7 (ICM, 2000).

Ketersediaan unsur hara P (fosfor/*phosphorus*) sangat tergantung pada pH tanah. Menurut Steiner (2006) arang dapat digunakan untuk meningkatkan ketersediaan P pada tanah-tanah masam. Ketersediaan P sangat dipengaruhi oleh pH tanah yang tergantung pada reaksi abiotik (antara lain cahaya, curah hujan, temperatur, pola angin) yang mempengaruhi rasio dari terlarut ke tidak terlarut terhadap cadangan P dalam tanah. Ketersediaan P umumnya menjadi lebih rendah pada tanah sangat masam dan tanah alkalin, karena reaktivitas P dengan tanah meningkat serta membentuk senyawa tidak

terlarut dengan aluminium (Al) dan besi (Fe) pada tanah masam dan dengan kalsium (Ca) pada tanah alkalin (DeLuca *et al.*, 2009). Penambahan logam alkalin (antara lain Ca, Mg, K, Na) yang bersumber dari komponen abu yang terkandung di dalam *biochar*, baik sebagai garam terlarut maupun yang terkait dengan kompleks pertukaran kation (*cation exchange*) pada permukaan *biochar*, merupakan pengaruh tunggal yang paling signifikan dari *biochar* terhadap kelarutan P, khususnya pada tanah masam di mana perubahan kecil (*subtle*) dalam pH dapat mengakibatkan pengurangan pengendapan antara P dan Al^{3+} maupun dengan Fe^{3+} secara substansial (Steiner *et al.*, 2007). Berbeda dengan bahan organik lainnya di dalam tanah, arang menyerap (*adsorb*) unsur hara fosfat jauh lebih kuat walaupun fosfat adalah anion (Cheng *et al.*, 2006), terkecuali bila pH tanah rendah (Lehmann, 2007).

Konsentrasi K tersedia (K_2O) tanah pada tanaman *M. montana* meningkat dengan perlakuan dosis arang, yaitu dari 81,33 ppm (0%) menjadi 107 ppm (5%), 109,33 ppm (10%), dan 106,7 ppm (15%). Sementara konsentrasi K tersedia pada bahan arang sebesar 4521 ppm (Tabel 2) jauh lebih besar melebihi konsentrasi K tersedia dalam tanah. Hasil ini menunjukkan aplikasi arang dapat meningkatkan K tersedia berdasarkan naiknya level dosis arang yang ditambahkan. K diserap akar tanaman dalam bentuk ion K^+ pada larutan tanah.

Ketersediaan K dalam *biochar* sangat tergantung suhu pirolisis. Hasil penelitian Yu *et al.* (2005) melaporkan bahwa proses karbonisasi/pirolisis pada jerami (*rice straw*), kandungan K total hilang akibat terjadinya penguapan masing-masing sebesar 48% pada suhu $473^{\circ}C$ - $673^{\circ}C$ dan sekitar 70% pada suhu $1.373^{\circ}C$. Namun demikian, pemanasan lebih lanjut pada suhu yang lebih tinggi menyebabkan kehilangan K yang lebih tinggi akibat terjadinya penguapan dan penggabungan K ke dalam struktur silikat. Hasil ini didu-

kung oleh temuan oleh Shinogi (2004), yang melaporkan pengurangan K tersedia dari 14 hingga lebih kecil dari satu persen selama pirolisis lumpur air limbah, yaitu dari suhu $250^{\circ}C$ ke $600^{\circ}C$, sedangkan jumlah K total meningkat dua kali lipat, yaitu dari 0,51% menjadi 1,12% pada suhu yang sama. Sementara ketersediaan K dalam tanah tergantung terutama pada tipe dan jumlah mineral-mineral yang hadir dalam tanah. K dalam bentuk tidak tersedia ditemukan pada batuan dan mineral primer dan menjadi tersedia apabila mineral tersebut mengalami dekomposisi. Liat tanah yang dapat terdisintegrasi di sekitar ion K^+ mampu memfiksasi K, sehingga K tidak bebas dalam kompleks pertukaran (Hudges, 2010).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Dosis optimum arang 5% (v/v) sudah cukup efektif untuk meningkatkan laju pertumbuhan awal tanaman hutan jenis *M. montana* Blume pada umur enam bulan setelah penanaman pada tipe tanah Latosol yang bertekstur liat.
2. Aplikasi arang pada tanaman *M. montana* Blume setelah enam bulan penanaman pada tipe Latosol yang bertekstur liat mampu memperbaiki sebagian besar kondisi kritikal parameter-parameter sifat kesuburan tanahnya, yaitu dengan meningkatnya pH, Ca^{2+} , KTK, KB, Mg^{2+} , P_2O_5 , K_2O tanah serta dapat menurunkan kema-saman H^+ -dd dan Al^{3+} -dd tanah.

B. Saran

Mengingat benefit lingkungan yang sangat potensial terutama untuk memperbaiki dan meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui perbaikan kualitas kesuburan tanah di samping faktor jumlah bahan baku arang (limbah hutan) yang sede-

mikian melimpah di Indonesia, dalam rangka pengembangan usaha hutan tanaman disarankan untuk mengaplikasikan arang sebagai *soil conditioner* pada awal penanaman guna memacu pertumbuhan awal tanaman terutama pada areal lahan hutan yang sifat kesuburan tanahnya *marginal*.

DAFTAR PUSTAKA

- Amonette, J.E. 2010. Biochar introduction. <http://www.slideshare.net/NSCSS/amonette-biocharintroduction>. Diakses 23 Agustus 2010.
- Anonim. 2000. Teknologi alternatif pemanfaatan limbah. Prosiding Lokakarya Penelitian Hasil Hutan. Pusat Litbang Hasil Hutan. Bogor.
- Astera, M. 2007. Cation exchange capacity in soils, simplified (so that even I can understand it). Soilminerals.com.
- Stasiun Klimatologi Pondok Betung. 2011. Rata-rata curah hujan bulanan pos hujan di Propinsi Banten dan DKI Jakarta. <http://www.staklimpondokbetung.net/normalch.php>. Diakses 14 Juni 2011.
- Chan, Y.C. and Z. Xu. 2009. Biochar: nutrient properties. *In*: J. Lehmann and S. Joseph (eds), Biochar for environmental management. Earthscan publisher. p 66-84.
- Cheng, C. H., J. Lehmann, J.E. Thies, S.D. Burton, and M.H. Engelhard. 2006. Oxidation of black carbon through biotic and abiotic processes. *Organic Geochemistry* 37: 1477-1488.
- Cheng, C. H., J. Lehmann, and M. Engelhard. 2008. Natural oxidation of black carbon in soils: changes in molecular form and surface charge along a climosequence. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 72: 1598-1610.
- Cochrane, T.T. and P.A. Sanchez (1980). Land resources, soil properties and their management in the Amazon Region: a state of knowledge report. *In* : Glaser, B., J. Lehmann, and W. Zech. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal. A review biology and fertility of soils 35 : 219-230.
- Cornell University. 2010. Biochar soil management. Soil fertility management and soil biogeochemistry. Department of Crop and Soil Sciences, Cornell University. http://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/research/biochar/biochar_main.htm. Diakses 5 September 2010.
- DeLuca, T.H., M. Derek, MacKenzie, and M.J. Gundale. 2009. Biochar effects on soil nutrient transformations. *In* : J. Lehmann and S. Joseph (eds), Biochar for environmental management. Earthscan publisher. p 251-270.
- Erickson, C. 2003. Historical ecology and future explorations. *In*: J. Lehmann, D.C. Kern, B. Glaser, and W.I. Woods (eds.), Amazonian dark earths: origin, properties, management. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. p 455-500.
- FAO. 1974. Soil map of the world. Volumes 1-10. Food and Agriculture Organization of the United Nations and UNESCO, Paris. 1:5,000,000.
- Glaser, B., L. Haumaier, G. Guggenberger, and W. Zech. 2001. The terra preta phenomenon - a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften* 88. p 37-41.
- Glaser, B., J. Lehmann, and W. Zech. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal. A Review Biology and Fertility of Soils 35 : 219-230.
- Goldberg, E.D. 1985. Black carbon in the environment. John Wiley and Sons, Inc, New York, NY.

- Hardjowigeno, S. 2003. Ilmu tanah. Akademika Pressindo, Jakarta. pp. 286.
- Harun, R. 2008. Upaya dan permasalahan rehabilitasi lahan kritis. Berita, Berita Perhutani, Halaman Utama, Perum Perhutani, Perusahaan Umum Kehutanan Negara.
- Hudges, S.C. 2010. Soil fertility basic. NC Certified Crop Advisor Training. Soil Science Extension North Carolina State University. http://www.plantstress.com/articles/min-deficiency_i/soil_fertility.pdf. Diakses 2 Desember 2010.
- ICM. 2000. Soil testing and available phosphorus. Integrated Crop Management. IC-484 (22). <http://www.ipm.iastate.edu/ipm/icm/2000/9-18-2000/availablep.html>.
- Kishimoto, S. and G. Sugiura. 1985. Charcoal as a soil conditioner. *Int Achieve Future* 5 : 12-23.
- Kuykendall, H. 2008. Soil quality physical indicators: selecting dynamic soil properties to asses soil function. USDA NRCS Soil Quality National Technology Development Team. Soil Quality Technical Note No.10.
- Laird, D.A. 2008. The charcoal vision: a win-win-win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality. *Agron J* 100: 178-181.
- Lehmann, J., J.P. da Silva Junior, C. Steiner, T. Nehls, W. Zech, and B. Glaser. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological anthrosol and a ferralsol of the Central Amazon Basin: Fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil* 249: 343-357.
- Lehmann, J. 2007. Concepts and questions: bio-energy in the black. *Front Ecol Environ* 5(7): 381-87.
- Liang, B., J. Lehmann, D. Solomon, J. Kinyangi, J. Grossman, B. O'Neill, J. O. Skjemstad, J. Thies, F. J. Luizão, J. Petersen and E. G. Neves. 2006. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 1719-1730.
- LPT. 1966. Peta tanah tinjau Propinsi Jawa Barat. Skala 1 : 250.000. LPT. Bogor.
- Major, J. 2009. Biochar belongs in soil. National Society of Consulting Soil Scientists, Inc. Website <http://www.nscss.org/node/187>. Diakses 20 Juli 2009.
- Major, J., C. Steiner, A. Downie, and J. Lehmann. 2009. Biochar effects on nutrient leaching. *In: J. Lehmann and S. Joseph (eds), Biochar for environmental management.* Earthscan publisher: 271-287.
- Mann, C.C. 2005. 1491: new revelations of the Americas before Columbus. Vintage and Anchor Hooks, New York. NY.
- Mbagwu, J.S.C. and A. Piccolo. 1997. Effects of humic substances from oxidized coal on soil chemical properties and maize yield. *In: Glaser, B., J. Lehmann, and W. Zech.* 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal. *A Review Biology and Fertility of Soils* 35 : 219-230.
- McHenry, M.P. 2009. Agricultural biochar production, renewable energy generation and farm carbon sequestration in Western Australia: Certainty, uncertainty and risk. *Agriculture, Ecosystems & Environment.* Elsevier B.V. 129, Issues 1-3: 1-7.
- Sall, J., L. Creighton and A. Lehman. 2005. JMP start statistics. A guide to statistics and data analysis using JMP and JMP in Software. Thomson Learning Academic Resource Center. Third Edition. pp. 560.
- Shinogi, Y. 2004. Nutrient leaching from carbon products of sludge. ASAE/CSAE Annual International Meet-

- ing, Paper number 044063, Ottawa, Ontario, Canada.
- Siregar, C.A., I. Heriansyah, and K. Miyakuni. 2003. Preliminary study on the effect of charcoal application on the early growth. Buletin Penelitian Hutan 634. Bogor.
- Siregar, C.A. 2005. Growth of *Acacia mangium*, *Pinus merkusii*, and *Shorea leprosula* plantation as affected by charcoal application in West Java. Proceeding of the 2nd Workshop on Demonstration Study on Carbon Fixing Forest Management in Indonesia. Forestry Research & Development Agency (FORDA) and Japan International Cooperation Agency (JICA). Eds. : Dr Ngaloken Gintings & Dr. Han Roliadi. January 11, 2005. Bogor.
- Sombroek, W.G., F.O. Nachtergaele, and A. Hebel. 1993. Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical Soils. *Ambio* 22 : 417-426.
- Sombroek, W.G., M.L. Ruivo, P.M. Fearnside, B. Glaser, and J. Lehmann. 2003. Amazonian dark earths as carbon stores and sinks. *In* : J. Lehmann, D.C. Kern, B. Glaser and W.I. Woods (eds.), Amazonian dark earths: origin, properties, management. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers: 125-139.
- Steiner, C., 2006. Slash and char as alternative to slash and burn - soil charcoal amendments maintain soil fertility and establish a carbon sink. Ph.D Dissertation, Faculty of Biology, Chemistry and Geo-sciences University of Bayreuth, Germany.
- Steiner, C., W.G.Teixeira, J. Lehmann, T. Nehls, J.L.V. de Macedo, W.E.H. Blum, and W. Zech. 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: 275-290.
- USDA. 1975. Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Soil Conservation Service, Soil Survey Staff, U.S. Dept. of Agric. Handb. 436. U.S. Govt. Print. Off. Washington, DC. pp. 754.
- Yu, C., Y. Tang, M. Fang, Z. Luo, and K. Cen. 2005. Experimental study on alkali emission during rice straw pyrolysis. *Journal of Zhejiang University (Engineering Science)* 39: 1435-1444.

Lampiran (Appendix) 1. Curah hujan ¹⁾ di wilayah penelitian (*Precipitation of research site*)

Periode (Period)	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des	Total (mm)
1991 - 2005	361	343	271	199	133	52	47	62	82	156	381	429	2.516

¹⁾ Nilai rata-rata curah hujan bulanan (mm) selama 15 tahun (1991-2005) berdasarkan data dari Stasiun Pemantau Curah Hujan Labuan (*Average value of monthly precipitation (mm) for 15 years from 1991 to 2005 based on the data from Labuan Precipitation Monitoring Station*)

Lampiran (Appendix) 2. Analisis keragaman laju pertumbuhan tinggi dan diameter tanaman *M. montana* pada umur enam bulan berdasarkan perlakuan dosis arang (*Variance analysis of height and diameter growth rate of six month old M. montana by biochar dosage treatments*)

Laju pertumbuhan (Growth rates)	Sumber keragaman (Source of variation)	Db (df)	Jumlah kuadrat (Sum of square)	Rata-rata kuadrat (Mean of square)	F-rasio (F-ratio)	Prob > F
Tinggi (Height)	Perlakuan (Treatment)	3	1688,21	562,74	20,85	<,0001
	Galat (Error)	158	4263,56	26,98		
	Total terkoreksi (Corrected total)	161	5951,78			
Diameter	Perlakuan (Treatment)	3	25,52	8,51	24,96	<,0001
	Galat (Error)	135	46,02	0,34		
	Total terkoreksi (Corrected total)	138	71,54			

Lampiran (Appendix) 3. Analisis keragaman pH H₂O, Ca²⁺, KTK, KB, H-dd tanah pada tanaman *M. montana* umur enam bulan berdasarkan perlakuan empat level dosis arang (*Analysis of variance of pH H₂O, Ca²⁺, Mg²⁺, CEC, BS, Exch.H⁺ soil of six month old M. montana by four dosage levels of charcoal treatments*)

Parameter	Sumber keragaman (Source of variation)	Db (df)	Jumlah kuadrat (Sum of square)	Rata-rata kuadrat (Mean of square)	F-rasio (F-ratio)	Prob > F
pH-H ₂ O	Perlakuan (Treatment)	3	0,11	0,04	14,56	0,0013
	Galat (Error)	8	0,02	0,0025		
	Total terkoreksi (Corrected total)	11	0,12			
Ca ²⁺	Perlakuan (Treatment)	3	1,1841	0,39	5,39	0,02
	Galat (Error)	8	0,59	0,07		
	Total terkoreksi (Corrected total)	11	1,77			
KTK (CEC)	Perlakuan (Treatment)	3	4,11	1,37	4,05	0,05
	Galat (Error)	8	2,71	0,34		
	Total terkoreksi (Corrected total)	11	6,82			
KB (BS)	Perlakuan (Treatment)	3	111,58	37,19	7,69	0,0096
	Galat (Error)	8	38,67	4,83		
	Total terkoreksi (Corrected total)	11	150,25			
H ⁺ -dd (Exch. H ⁺)	Perlakuan (Treatment)	3	0,14	0,05	15,14	0,0012
	Galat (Error)	8	0,02	0,0031		
	Total terkoreksi (Corrected total)	11	0,17			