

Pengaruh Aplikasi Biochar Limbah Kulit Pinang Dosis Rendah terhadap Sifat Kimia Inceptisol

Maidia Solfianti^{1*}, Herviyanti², Teguh Budi Prasetyo², dan Amsar Maulana³

¹Program Studi Magister Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Andalas

²Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas

³Program Studi Doktor Ilmu Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis Padang 25163

*Alamat korespondensi: maidiasolfianti@gmail.com

INFO ARTIKEL	ABSTRACT/ABSTRAK
Diterima: 10-3-2021 Direvisi: 7-5-2021 Dipublikasi: 10-5-2021	Effect of Betel Nut Peel Biochar Low Dosage on Chemical Properties of Inceptisols
Keywords: Biochar, Betel nut peel, Inceptisol, Dosage	Currently, the use of agricultural organic waste is starting to develop into biochar as an alternative soil amendment and efforts to reduce the negative impact of waste or garbage in the environment. The purpose of this study was to obtain the best biochar dosage in improving some soil chemical properties of Inceptisol. This study used a Completely Randomized Design with 5 treatments and 3 replications, namely A = 0 t/ha (0.00 g/500 g soil), B = 5 t/ha (1.25 g/500 g soil), C = 10 t/ha (2.50 g/500 g soil), D = 15 t/ha (3.75 g/500 g soil), and E = 20 t/ha (5.00 g/500 g soil). The results showed that 20 t/ha dosage of betel nut peel biochar has a very high significant effect on increasing pH, Organic C, P- available, CEC, N- total, and exchangeable K, Ca and Mg of 0.14 unit, 0.93%, 18,87 ppm, 21,32 cmol(+)/kg, 0.2%, 0.66 cmol(+)/kg, 1.17 cmol(+)/kg, and 1.91 cmol(+)/kg, respectively, compared with control.
Kata Kunci: Biochar, Kulit pinang, Inceptisol, Rekomendasi	Saat ini mulai berkembang pemanfaatan limbah organik pertanian untuk dijadikan biochar sebagai bahan pembenah tanah alternatif dan upaya mengurangi dampak negatif limbah atau sampah di lingkungan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan dosis biochar terbaik dalam memperbaiki beberapa sifat kimia tanah Inceptisol. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan 5 perlakuan dan 3 ulangan yaitu: A = 0 t/ha (0,00 g/500 g tanah), B = 5 t/ha (1,25 g/500 g tanah), C = 10 t/ha (2,50 g/500 g tanah), D = 15 t/ha (3,75 g/500 g tanah), dan E = 20 t/ha (5,00 g/500 g tanah). Hasil penelitian menunjukkan bahwa dosis 20 t/ha biochar kulit buah pinang berpengaruh sangat nyata terhadap peningkatan pH, C Organik, P- tersedia, KTK, N- total, K-dd, Ca-dd dan Mg-dd yaitu masing-masing sebesar 0,14 unit, 0,93%, 18,87 ppm, 21,32 cmol(+)/kg, 0,2%, 0,66 cmol(+)/kg, 1,17 cmol(+)/kg, dan 1,91 cmol(+)/kg dibandingkan dengan kontrol.

PENDAHULUAN

Inceptisol merupakan jenis tanah yang penyebarannya meliputi 70,52 juta ha atau 44,6% dari total luas daratan di Indonesia (Puslittanak,

2006). Berdasarkan penelitian Nursyamsi dan Suprihati (2005), kandungan C-organik dan nitrogen total pada Inceptisol lebih rendah jika dibandingkan dengan Oxisol, Vertisol, dan Andisol. Inceptisol selain kemasaman tanahnya tergolong agak masam,

kandungan basa yang dipertukarkan seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} dan kejenuhan basa juga termasuk rendah, selain itu kadar fosfor tersedia rendah.

Upaya untuk meningkatkan kandungan C-organik, N total, dan kation basa dalam tanah Inceptisol dapat dilakukan dengan pemberian amelioran tanah seperti aplikasi bahan organik (kompos, pupuk hijau dan lainnya). Saat ini mulai berkembang pemanfaatan limbah organik pertanian untuk dijadikan biochar sebagai bahan pembenah tanah alternatif dan upaya mengurangi dampak negatif limbah atau sampah terhadap lingkungan. Biochar merupakan substansi arang kayu yang berpori (porous). Biochar dapat ditambahkan ke tanah dengan maksud untuk meningkatkan fungsi tanah. Berbeda dengan bahan organik jenis lainnya, biochar mampu bertahan lama di dalam tanah dan relatif resisten terhadap serangan mikroorganisme, sehingga proses dekomposisi berjalan lambat (Tang *et al.*, 2013).

Kelompok gugus fungsional di pinggiran biochar dapat meningkatkan kualitas tanah dengan menyediakan tempat pertukaran untuk kation tanah (Glaser *et al.*, 2002; Birk *et al.*, 2012). Menurut Lehmann dan Joseph (2009) setelah aplikasi biochar ke tanah, retensi air meningkat karena partikel biochar berpori dapat menahan air dan mengurangi mobilitasnya. Setelah biochar melapuk, agregasi tanah meningkat karena biochar berikatan dengan partikel tanah lainnya dan muatan permukaan biochar meningkat, sehingga meningkatkan kapasitas tukar kation. Aplikasi biochar pada tanah berpasir dengan kesuburan rendah meningkatkan total C sebesar 7-11%, K sebesar 37-42%, P sebesar 68-70%, dan Ca sebesar 69-75% dibandingkan dengan tidak ada aplikasi biochar (El-Naggar *et al.*, 2019; Laghari *et al.*, 2015). Solaiman dan Anawar (2015) melaporkan aplikasi biochar dapat meningkatkan pH pada tanah masam, meningkatkan KTK tanah (Tambunan dkk., 2014), menyediakan unsur hara N, P dan K (Schnell *et al.*, 2011). Biochar menjaga kelembaban tanah sehingga kapasitas menahan air tinggi (Endriani dkk., 2013) dan meremediasi tanah yang tercemar logam berat seperti (Pb, Cu, Cd dan Ni) (Ippolito *et al.*, 2012).

Pemanfaatan biochar dalam tujuan pertanian tergantung pada kualitas biochar (Sohi *et al.*, 2010). Kualitas biochar ditentukan oleh proses pembuatan dan bahan bakunya. Jenis bahan baku yang berpotensi cukup besar dan belum ada diteliti sebagai biochar adalah limbah kulit pinang. Pinang merupakan salah satu tanaman perkebunan di

daerah Provinsi Sumatera Barat. Hampir seluruh kabupaten di Sumatera Barat memiliki komoditas pinang. Salah satunya Kabupaten Solok Selatan dengan produksi pinang berkisar 330 – 830 ton/tahun dari tahun 2008 – 2017 (BPS Sumbar, 2017). Pinang ditanam untuk dimanfaatkan biji dan batangnya, sedangkan kulit pinang hanya menjadi limbah. Penggunaan limbah kulit pinang sebagai biochar dapat mengurangi dampak negatif limbah terhadap lingkungan sekaligus sebagai bahan amelioran tanah dan mampu mengatasi permasalahan pada tanah Inceptisol.

Berdasarkan uraian di atas, maka perlu dilakukan percobaan pemanfaatan biochar dari bahan baku limbah kulit pinang dengan beberapa takaran, kemudian diaplikasikan dan diuji pengaruhnya terhadap beberapa sifat kimia Inceptisol. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan takaran biochar terbaik dalam meningkatkan sifat kimia Inceptisol.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan di Laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah Fakultas Pertanian, Universitas Andalas, Padang. Penelitian dimulai dari bulan Juli 2020 hingga Januari 2021.

Persiapan Sampel Tanah dan Biochar Limbah Kulit Pinang

Tanah dari ordo Inceptisol yang digunakan untuk percobaan ini diambil secara komposit pada kedalaman 0 – 20 cm dari permukaan tanah di Kenagarian Simpang Tanjuang Nan IV Kecamatan Danau Kembar Kabupaten Solok. Sampel tanah diambil pada beberapa titik yang mewakili dan dikompositkan. Jumlah tanah yang diambil diperkirakan sekitar 100 kg. Kemudian sampel tanah dikeringanginkan, dihaluskan lalu diayak dengan ayakan 2mm dan diaduk sampai homogen. Kadar air tanah ditentukan dengan cara menimbang tanah sebanyak 10 g, kemudian dikeringkan dalam oven suhu (105°C), dan dihitung kadar air dan koreksi kadar airnya/metode oven (Hakim & Agustian, 2006). Kemudian sampel yang diayak dimasukkan ke dalam pot yang masing-masing setara dengan 500 g Inceptisol berat kering mutlak.

Limbah kulit pinang diambil secara komposit dari hasil limbah beberapa produksi pinang di daerah di Kabupaten Solok Selatan. Limbah kulit pinang sebagai bahan baku biochar dioven pada suhu (70°C) selama 1 x 24 jam untuk penetapan berat

kering bahan baku. Selanjutnya limbah kulit pinang ditimbang sebanyak 50 g per masing-masing perlakuan untuk proses pirolisis. Proses pirolisis dilakukan menggunakan *Furnace* (WiseTherm) pada suhu (200°C) selama 45 menit (Yang *et al.*, 2014; Septiana, 2017). Biochar yang telah terbentuk disiram menggunakan aquadest dan dioven pada suhu (70°C) selama 1 x 24 jam untuk mendapatkan berat kering dan nilai rendemen biochar yang dihasilkan selama proses pirolisis (Singh *et al.*, 2017). Biochar yang dihasilkan digiling menggunakan mortar dan diayak menggunakan ayakan 2 mm selama 10 menit. Kemudian, sampel dianalisis di laboratorium dan diamati karakteristik kimia dan fisik dari bahan baku menjadi biochar yang telah dihasilkan.

Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan tiga ulangan, dimana terdiri atas lima taraf perlakuan yaitu A = 0 t/ha (0,00 g/500 g tanah), B = 5 t/ha (1,25 g/500 g tanah), C = 10 t/ha (2,50 g/500 g tanah), D = 15 t/ha (3,75 g/500 g tanah), dan E = 20 t/ha (5,00 g/500 g tanah).

Pelaksanaan Penelitian

Sampel tanah yang telah disiapkan, ditimbang sebanyak 500 g. Selanjutnya biochar limbah kulit pinang yang digunakan merupakan hasil pirolisis dengan suhu (200°C), kemudian dihitung bobot sesuai dengan perlakuan dan dicampur dengan tanah pada masing-masing pot perlakuan. Kemudian diaduk rata dan disiram menggunakan aquades sesuai dengan kadar air kapasitas lapang dari tanah yang digunakan dan diinkubasi selama 2 minggu. Selanjutnya dilakukan pengambilan sampel tanah untuk dianalisis perubahan sifat kimia di laboratorium.

Analisis Tanah dan Statistik

Parameter hara tanah dan metode analisis yang digunakan adalah C organik (Walkley and Black), N-total (Kjeldahl), P-tersedia (Bray I), K (Flamephotometry), Ca dan Mg (AAS), KTK (Destilasi, Ammonium asetat pada pH 7), dan pH (pH meter). Kemudian hasil analisis tanah dilanjutkan dengan analisis statistik menggunakan Software Statistic 8 dan Excel 2016, dalam menganalisa perubahan sifat kimia tanah yang terjadi. Data dianalisis secara statistik dengan uji F analisis varians (ANOVA), jika perhitungan $F_{hitung} > F_{table}$ pada taraf 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

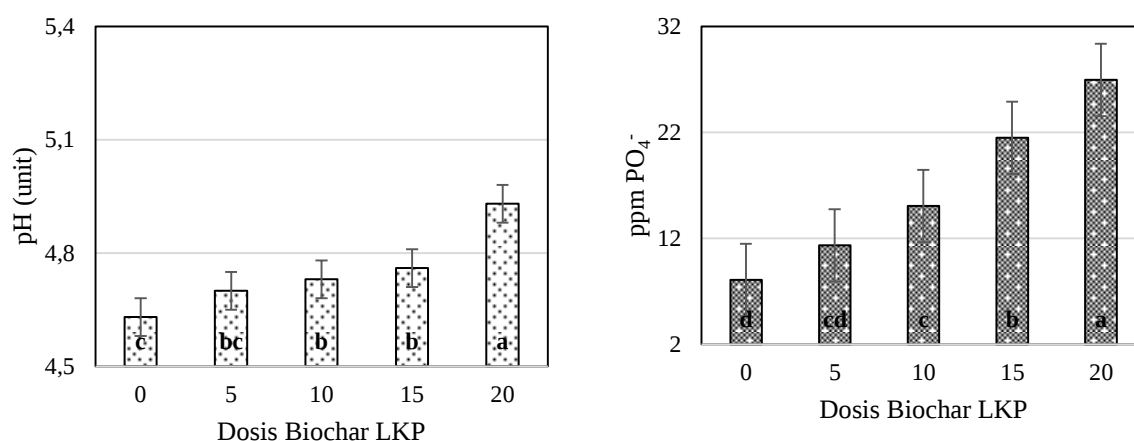
pH H₂O dan P tersedia

Aplikasi biochar bahan baku limbah kulit pinang berpengaruh signifikan/sangat nyata terhadap nilai pH dan kandungan P tersedia tanah (Gambar 1). Semakin tinggi pemberian dosis biochar maka semakin tinggi pula peningkatan nilai pH dan kandungan P-tersedia dalam tanah. Peningkatan nilai pH seiring dengan peningkatan dosis biochar yang diberikan ke dalam tanah, sebesar 0,07 unit (5 t/ha), 0,10 unit (10 t/ha), 0,13 unit (15 t/ha) dan 0,30 unit (20 t/ha), dibandingkan dengan tanpa perlakuan (Gambar 1A). Hal ini diduga karena biochar limbah kulit pinang memiliki nilai pH yang tergolong tinggi (9,8 – 10,3). Menurut Solaiman dan Anwar (2015) tingkat alkalinitas dalam biochar merupakan salah satu faktor biochar berkontribusi terhadap potensinya sebagai kapur. Sejalan dengan hasil penelitian bahwa aplikasi biochar dapat meningkatkan pH tanah masam (Jeffery *et al.*, 2015), biochar memiliki beberapa bahan alkali, memiliki pH yang relatif tinggi sehingga dapat menetralkan kemasaman tanah (Novak *et al.*, 2009) dan penambahan biochar dapat meningkatkan pH pada tanah masam karena adanya peningkatan konsentrasi logam alkali (Ca²⁺, Mg²⁺ dan K⁺) di biochar yang dapat mengurangi konsentrasi Al³⁺ di dalam tanah sehingga nilai pH dapat meningkat (DeLuca *et al.*, 2009).

Aplikasi biochar limbah kulit pinang terlihat sangat nyata dalam meningkatkan nilai P tersedia Inceptisol dari pemberian dosis 5 t/ha - 20 t/ha, masing-masing sebesar 3,25, 6,97, 13,4 dan 18,87 ppm dibandingkan dengan tanpa pemberian biochar (Gambar 1B). Menurut Sujana (2014) peranan biochar dapat meningkatkan ketersediaan P karena gugus fungsional pada biochar menimbulkan partikel bermuatan negatif yang dapat mengikat ion-ion dan akan dilepas secara perlahan sehingga P dapat tersedia dan diserap tanaman. Selanjutnya Novak *et al.* (2009) menyatakan bahwa biochar yang diproduksi dengan suhu rendah akan menghasilkan gugus fungsional yang berfungsi dalam pertukaran hara lebih banyak dibandingkan dengan biochar yang diperoleh dengan suhu tinggi. Berdasarkan data FTIR dari biochar limbah kulit pinang yang dianalisis, terdapat beberapa gugus fungsional diantaranya gugus karboksilat dan penolik. Gugus fungsional tersebut dapat mengadsorpsi Al³⁺ sehingga membebaskan unsur hara P yang terfiksasi dan menjadi tersedia untuk tanaman. Pada jenis tanah ini

didapatkan pH tanah yang tergolong masam (4,5 – 4,7), sehingga diharapkan dapat mengurangi ikatan P oleh Al^{3+} dan Fe^{3+} . Menurut DeLuca *et al.* (2009) biochar dapat mengubah pH tanah dan bertindak sebagai ameliorator kompleksasi P oleh logam (Al^{3+} , Fe^{3+} , Ca^{2+}) sehingga dapat mengurangi konsentrasi Al^{3+} dalam tanah. Permukaan biochar yang hidrofobik juga mampu menjerap molekul organik yang terlibat dalam proses khelasi seperti ion Al^{3+} ,

Fe^{3+} , Ca^{2+} dan menghilangkan efek khelat sehingga kelarutan P di tanah meningkat. Jadi, gugus fungsional yang terdapat di permukaan biochar maupun pori-porinya yang banyak dapat mengkhelat Al^{3+} , Fe^{3+} , Ca^{2+} sehingga konsentrasi unsur tersebut berkurang dalam larutan tanah dan ketersediaan P dapat meningkat karena yang akan mengikatnya sudah berkurang.



A
Biochar Limbah Kulit Pinang (LKP) [t/ha]

B

Gambar 1. Pengaruh biochar limbah kulit pinang terhadap (A) pH H₂O dan (B) P tersedia

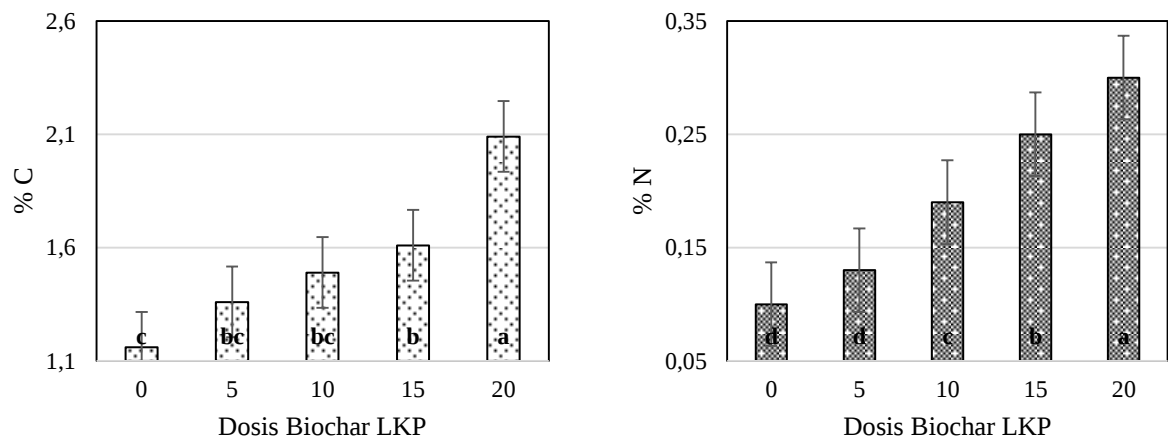
C organik dan N total

Aplikasi biochar limbah kulit pinang berpengaruh signifikan/berbeda sangat nyata terhadap kandungan C-organik tanah dan kandungan N-total tanah (Gambar 2A). Semakin tinggi pemberian dosis biochar maka semakin tinggi pula peningkatan kandungan C-organik dalam tanah. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Widyantika dan Priyono (2019), dimana pada tanah Typic Kanhapludult sebelum percobaan memiliki kandungan C-organik yang rendah (1,08%). Namun demikian, setelah dilakukan perlakuan biochar sekam padi, kandungan C-organik pada tanah meningkat menjadi 3,70% dan peningkatan maksimal sampai 12,67%.

Peningkatan nilai C-organik setelah aplikasi biochar diduga karena biochar limbah kulit pinang yang digunakan pada penelitian ini memiliki kadar C yang tinggi (55,87%). Selain itu, biochar juga dapat mengikat bahan organik di tanah sehingga tetap stabil dan tidak mudah terdekomposisi oleh mikroorganisme. Hammes dan Schmidt (2009)

menyatakan grup fungsional di permukaan biochar dapat menjerap C-organik yang ada di dalam tanah.

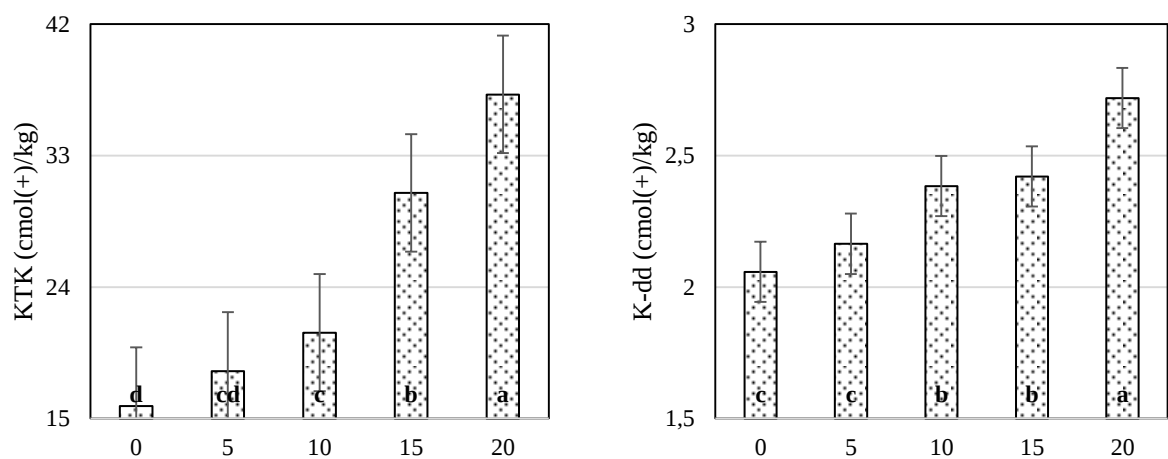
Pada Gambar 2B dapat dilihat bahwa peningkatan N-total sangat nyata akibat aplikasi biochar dibandingkan dengan tanpa pemberian biochar. Nilai N-total tertinggi terdapat pada pemberian dosis 20 t/ha yaitu 0,30 %. Sejalan dengan hasil penelitian Agnesia (2014) yaitu kandungan N-total rata-rata setelah pemberian biochar adalah 0,29–0,30%. Peningkatan kandungan nitrogen diduga karena biochar yang telah menyumbangkan nitrogen yang dikandungnya. Menurut Gaskin *et al.* (2008), peningkatan kadar N diakibatkan oleh unsur N yang masuk ke dalam struktur yang lebih kompleks dan tahan terhadap pemanasan sebelum mudah menguap (*volatilized*). DeLuca *et al.* (2009) menyatakan permukaan oksida pada biochar juga efektif menjerap NO_3^- sehingga dapat berpotensi mengurangi kerugian N akibat pencucian sehingga nitrogen tanah dapat dipertahankan.



A
Biochar Limbah Kulit Pinang (LKP) [t/ha]

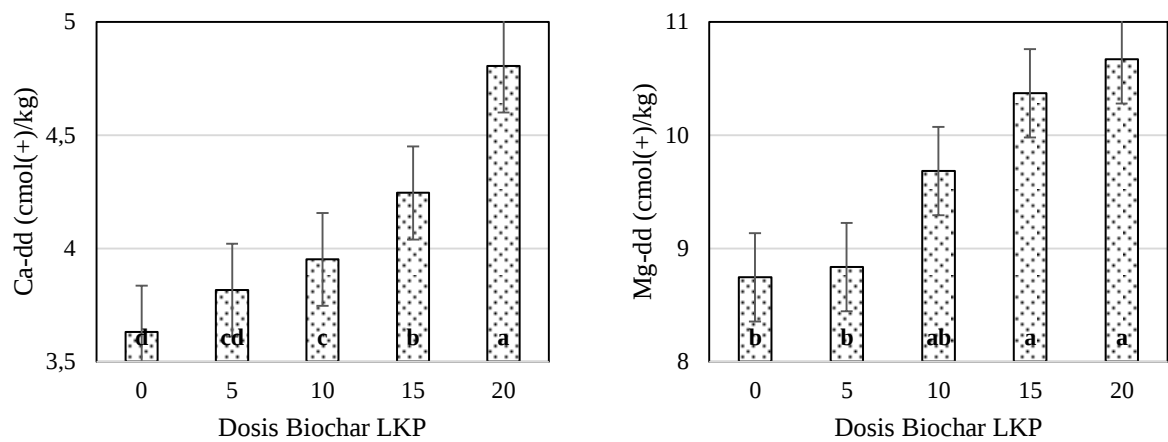
B

Gambar 2. Pengaruh biochar limbah kulit pinang terhadap (A) C organic dan (B) N total



A

B



C

D

Biochar Limbah Kulit Pinang (LKP) [t/ha]

Gambar 3. Pengaruh biochar limbah kulit pinang terhadap (A) KTK, (B) K-dd (C) Ca-dd dan (D) Mg-dd

KTK dan Kation Basa

Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa aplikasi biochar kulit pinang berpengaruh sangat nyata terhadap KTK, K-dd, Ca-dd dan berpengaruh nyata terhadap Mg-dd inceptisol. Peningkatan nilai KTK tanah terjadi seiring dengan peningkatan dosis biochar yang diberikan (Gambar 3A). Peningkatan yang signifikan terdapat pada pemberian biochar 20 t/ha sebesar 21,32% dibandingkan dengan tanpa pemberian biochar yaitu dengan nilai KTK dari 15,86 cmol(+)/kg (kontrol) hingga 37,18 cmol(+)/kg (20 t/ha). Peningkatan nilai KTK akibat pemberian biochar diduga karena biochar yang diberikan mempunyai nilai pH yang tergolong tinggi sebesar (9,8-10,3). Jika nilai pH tinggi maka nilai KTK akan tinggi karena disosiasi hidroksil meningkat dengan meningkatnya pH, adanya muatan variabel tergantung nilai pH berarti KTK meningkat dengan meningkatnya pH (Arestha, 2020). Hal ini sesuai dengan penelitian Kim dan Lee (2015) dimana pada biochar diasamkan dari larutan pH 7 hingga 3, potensi nilai KTK menurun pada biochar berbahan baku *Switchgrass* (450°C), dari 48,4 menjadi 23,7 cmol(+)/kg, pada *Switchgrass* (600°C), menurun dari 19,1 hingga 11,6 cmol(+)/kg, dan *Switchgrass* (800°C), turun dari 12,7 menjadi 5,4 cmol(+)/kg. Akibatnya, nilai KTK perlu dirujuk ke pH dimana mereka ditentukan. Selain itu, biochar dihasilkan dengan proses pirolisis limbah organik yang menghasilkan muatan negatif seperti *carboxylate anions* (COO⁻), dan *phenolic* (-OH) (data hasil analisis FTIR biochar kulit pinang), sehingga berperan pada adsorpsi kation-kation atau yang biasa disebut dengan kapasitas tukar kation (KTK).

Selain itu, pemberian biochar kulit pinang juga sangat nyata meningkatkan kadar K-dd, Ca-dd, dan Mg-dd Inceptisol (Gambar 3B - 3D). Peningkatan ini disebabkan oleh biochar yang digunakan memiliki kadar K, Ca, dan Mg cukup tinggi (13,96%, 4,48% dan 1,6%) sehingga mampu meningkatkan K-dd, Ca-dd, dan Mg-dd Inceptisol. Putri dkk. (2017) menyatakan bahwa biochar dapat meningkatkan sifat kimia tanah lainnya seperti Ca-dd dan Mg-dd tanah. Widiowati *et al* (2012) menyatakan bahwa biochar dapat mencukupi kebutuhan kalium bagi pertumbuhan vegetatif tanaman jagung sehingga berpotensi untuk menggantikan pemakaian pupuk KCl. Sebagai pembenah tanah, biochar mengandung unsur hara K yang dapat memperbaiki ketersediaan hara K dan pertumbuhan tanaman. Menurut Widiowati dkk. (2012), kalium yang terkandung dalam biochar dapat

berada dalam larutan tanah sehingga mudah diserap oleh tanaman dan juga peka terhadap pencucian.

SIMPULAN

1. Biochar limbah kulit pinang berpengaruh sangat nyata terhadap peningkatan sifat kimia tanah seperti pH, C-organik, KTK, N total, K-dd, Ca-dd, dan Mg-dd Inceptisol.
2. Semakin tinggi dosis yang diberikan semakin signifikan pula peningkatan terhadap semua nilai sifat kimia inceptisol dan pemberian dosis 20 t/ha memberikan peningkatan nilai yang signifikan terhadap semua sifat kimia tanah dibandingkan dengan kontrol.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) Kementerian Keuangan Republik Indonesia yang telah memberikan kesempatan dan beasiswa studi dan penelitian selama mengikuti Program Magister Ilmu Tanah, Universitas Andalas.

DAFTAR PUSTAKA

- Agnesia, F. 2014. Pengaruh Pemberian Biochar dan Kompos terhadap Sifat Kimia, Biologi, dan Emisi Gas Karbondioksida pada Tanah Sawah. [Tesis]. Universitas Brawijaya. Malang.
- Arestha, LL. 2020. Karakterisasi Biochar Limbah Kelapa Muda (*Cocos nucifera* L.) dan Bambu (Bambuseae) Berdasarkan Ukuran Partikel sebagai Amelioran Tanah. [Tesis]. Universitas Andalas. Padang.
- Birk, MI, CM Wurster, P Silva, AM Bass, and R De Nys. 2012. Algal biochar - production and properties. *Bioresource Technology*. 102(2): 1886-1891.
- [BPS Sumbar] Badan Pusat Statistik Provinsi Sumatera Barat. 2017. Produksi Pinang Perkebunan Rakyat 2008 -2017. BPS Provinsi Sumatera Barat. Padang.
- DeLuca, TH, MD MacKenzie, and MJ Gundale. 2009. Biochar effects on soil nutrient transformation. *In: P.* 251-265. *Biochar for Environmental Management: Science and Technology* (J Lehmann, S Joseph, Eds.). Earthscan. Sterling.

- El-Naggar, A, SS Lee, J Rinklebe, M Farooq, H Song, AK Sarmah, AR Zimmerman, M Ahmad, SM Shaheen, and YS Ok. 2019. Biochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects. *Geoderma*. 337: 536–554.
- Endriani, Sunarti, dan Ajidirman. 2013. Pemanfaatan biochar cangkang kelapa sawit sebagai soil amandement ultisol Sungai Bahar Jambi. *J. Penelitian Univeritas Jambi Seri Sains*. 15(1): 39-46.
- Gaskin, JW, C Steiner, K Harris, KC Das, and B Bibens. 2008. Effect of low temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. *Trans Asabe*. 51(6): 2061-2069.
- 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(4): 219-230.
- Hakim, N, dan Agustian. 2006. Pengelolaan KesuburanTanah Masam dengan Teknologi Pengapuran Terpadu. Andalas University Press. Padang. 204 hlm.
- Hammes, K, and MWI Schmidt. 2009. Changes of biochar in soil. *In*: Pp. 169-181. *Biochar for Enviromental Management: Science and Technology* (J Lehmann, S Joseph, Eds.) Earthscan. Sterling.
- Ippolito, JA, DA Laird, and WJ Busscher. 2012. Environmental benefits of biochar. *J. Environ. Qual*. 41: 967–972.
- Jeffery, S, TM Bezemer, G Cornelissen, TW Kuyper, J Lehmann, L Mommer, SP Sohi, TFJ van de Voorde, DA Wardle, and JW van Groenigen. 2015. The way forward in biochar research: targeting trade-offs between the potential wins. *GCB Bioenergy*. 7: 1-13.
- Kim, G, and J Lee. 2015. Dependence of pH in coastal waters on the adsorption of protons onto sediment minerals. *Limnology and Oceanography*. 60(3): 831–839.
- Laghari, M, SM Mirjat, Z Hu, F Saima, B Xiao, M Hu, Z Chen, and D Guo. 2015. Effects of biochar application rate on sandy desert soil properties and sorghum growth. *Catena*. 135: 313–320.
- Lehmann, J, and S Joseph. 2009. Biochar for environmental management: An introduction. *In*: Pp. 1-12. *Biochar for Environmental Management: Science and Technology* (J Lehmann and S Joseph, Eds.). Earthscan. London.
- Nursyamsi, D, dan Suprihati. 2005. Sifat-sifat kimia dan mineralogi tanah serta kaitannya dengan kebutuhan pupuk untuk padi (*Oryza sativa*), jagung (*Zea mays*), dan kedelai (*Glycine max*). *Bul. Agron*. 33(3): 40-47.
- Novak, JM, I Lima, B Xing, JW Gaskin, C Steiner, KC Das, M Ahmedna, D Rehrh, DW Watts, WJ Busscher, and H Schomberg. 2009. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. *Annals of Environmental Science*. 3: 195-206.
- [Puslittanak] Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. 2006. Tanah-Tanah Masam di Indonesia, Inceptisol. Bogor.
- Putri, VI, Mukhlis, dan B Hidayat. 2017. Pemberian beberapa jenis biochar untuk memperbaiki sifat kimia tanah ultisol dan pertumbuhan tanaman jagung. *Jurnal Agroekoteknologi*. 5(4): 824-828.
- Schnell, RW, DM Vietor, TL Provin, CL Munster, and S Capareda. 2011. Capacity of biochar application to maintain energy crop productivity: Soil chemistry, sorghum growth, and runoff water quality effects. *Jurnal of Enviromental Quality*. 41: 1044 - 1051.
- Septiana, LM. 2017. Karakteristik dan Kualitas Biochar dari Berbagai Limbah Biomassa Tanaman pada Pirolisis Suhu Rendah. [Tesis]. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Singh, B, M Camps-Arbestain, and J Lehmann. 2017. *Biochar: A Guide to Analytical Methods*. CRC Press. Australia.
- Sohi, SP, E Krull, E Lopez-Capel, and R Bol. 2010. A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in Agronomy*. 105: 47-82.
- Solaiman, ZM, and HM Anawar. 2015. Aplication of biochars for soil constraints: challenges and solution. *Pedosphere*. 25(5): 631-638.
- Sujana, IP. 2014. Rehabitasi Lahan Terdegradasi Limbah Cair Garmen dengan Pemberian Biochar. [Disertasi]. Universitas Udayana. Bali.
- Tambunan, S, E Handayanto, dan B Siswanto. 2014. Pengaruh aplikasi bahan organik segar dan biochar terhadap ketersediaan P dalam tanah di lahan kering Malang Selatan. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 1(1): 85-92.

- Tang, J, W Zhu, R Kookana, and A Katayama. 2013. Characteristics of biochar and its application in remediation of contaminated soil. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 116(6): 653-59.
- Widiowati, Asnah dan Sutoyo. 2012. Pengaruh penggunaan biochar dan pupuk kalium terhadap pencucian dan serapan kalium padatanaman jagung. *Buana Sains*. 12(1): 83-90.
- Widyantika, D, dan S Prijono. 2019. Effect of high doses of rice husk biochar on soil physical properties and growth of maize on a typic Kanhapludult. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 6(1): 1157–1163.
- Yang, HP, R Yan, T Chin, DT Liang, HP Chen, and CG Zheng. 2004. Thermogravimetric analysis – Fourier transform infrared analysis of palm oil wastes pyrolysis. *Energy Fuels*. 18(1): 1814–1821.