

## PERUBAHAN BEBERAPA SIFAT KIMIA TANAH AKIBAT PEMBERIAN LIMBAH SAGU SEBAGAI AMELIORAN DI TANAH MASAM

<sup>1</sup>Hadidjah Latuponu, <sup>1</sup>Sedek Karepesina, <sup>2</sup>Sulakhudin

<sup>1</sup>Universitas Darussalam Ambon

<sup>2</sup>Universitas Tanjungpura Pontianak

(latuponu\_unidar@yahoo.com)

### ABSTRAK

Penggunaan bahan hayati sebagai amelioran tanah untuk meningkatkan produktifitas tanah dan tanaman sangat dianjurkan. Bahan organik yang digunakan sebaiknya tidak hanya dapat memperbaiki sifat fisika, biologi dan kimia namun ameliorant tersebut sebaiknya tahan lama di dalam tanah. Hal ini untuk mengatasi kebutuhan yang makin meningkat dan terus menerus akibat bahan organik yang mudah mengalami dekomposisi. Limbah sagu berupa biochar maupun kompos adalah pembenah tanah yang dapat meningkatkan kesuburan dan tahan lama di dalam tanah. Tujuan penelitian untuk mengetahui perubahan pH, KTK, C-organik, N,P,K tanah setelah perlakuan biochar dan kompos dari limbah sagu di tanah masam. Penelitian menggunakan rancangan acak

lengkap faktor tunggal yaitu kombinasi biochar dan kompos dengan takaran : Kontrol (K0), biochar (BLS), kompos (KLS), BK (75:25)%, BK (50:50)%, BK (25:75) dengan tiga ulangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi biochar dan kompos (50:50%) meningkatkan sifat kimia tanah pH dari 4,7 menjadi 5,8, KTK cmol(+)/kg tanah 8,22 menjadi 13,81 cmol(+)/kg, sementara N,P,K peningkatan hanya sekitar 20-35% sedangkan untuk C-organik terjadi peningkatan dari 1,32 cmol(+)/kg menjadi 3,14 cmol(+)/kg. Artinya terjadi peningkatan sifat kimia tanah setelah aplikasi limbah sagu sebagai amelioran tanah.

**Kata kunci:** *sifat kimia, limbah sagu, amelioran, tanah masam*

### PENDAHULUAN

Penggunaan lahan kering masam merupakan alternatif upaya peningkatan luas areal pertanian. Seiring makin merosotnya luas lahan subur akibat alih fungsi menuntut suatu kebijakan penerapan teknologi yang tepat. Dewasa ini pemanfaatan bahan hayati untuk meningkatkan produktifitas tanah lebih dianjurkan karena selain meningkatkan kesuburan juga merupakan upaya pemulihan tanah akibat penggunaan intensif (Subagyo et al., 2000). Pratek aplikasi bahan organik pada lahan pertanian telah lama digunakan dan hasilnya signifikan baik terhadap produksi tanaman maupun kesehatan tanah. Kendala yang dihadapi adalah bahan organik baik kompos, hijauan, asam-asam organik ini mengalami dekomposisi cepat sehingga harus terus menerus diberikan dan jumlah yang selalu meningkat pada periode penanaman berikutnya (Jenkinson & Ayanaba, 1977 *cit* Widowati, 2011; Verheijen *et al.*, 2010; Handayanto & Hairiyah, (2007); Handayanto & Sholihah (2010)).

Penelitian terus digalakan untuk mendapatkan bahan organik yang tepat sebagai pembenah tanah, sumber nutrisi, tahan lama, ramah lingkungan, in situ dan berkelanjutan. Biochar menjawab tujuan tersebut. Biochar telah dimanfaatkan sebagai amelioran tanah karena dapat memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Laporan beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan biochar tahan lama dalam kurun 2-3 dekade biochar masih ditemui dalam tanah, sifat resisten ini meningkatkan residu unsur hara setelah panen (Glaser *et al.*, 2002; Lehmann, 2007; Lehmann & Joseph, 2009). Pemanfaatan biochar telah digunakan untuk penyuburan tanah dalam kurun waktu lama ribuan tahun di Amazonia yang dikenal dengan terra freta (Glaser *et al.*, 2007). Mutu biochar ditentukan oleh bahan baku dan proses pirolisis. Biochar dari limbah sagu pirolisis suhu 400-600 °C adalah pembenah tanah yang baik karena memiliki permukaan luas (105 m/g), retensi air tinggi di atas (70%), bersifat amorf, adanya gugus fungsional aromatik yang membuat biochar stabil dalam tanah (Latuponu, 2013). Memiliki pH tinggi (7-8), KTK, C serta mengandung unsur N, P, K, Ca, dan Mg (Latuponu et al., 2012).

Perkembangan limbah sagu dalam pemanfaatannya sebagai amelioran tanah dapat ditemukan dalam bentuk kompos (dekomposisi alami umur minimal 6 bulan), bokasi, dan

biochar. Biochar terbukti dapat meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman yang teruji melalui beberapa tahap percobaan diantaranya: Uji kemampuan ameliorasi pada penelitian pelindian (Hasil penelitian HIBAH BERSAING anggaran tahun 2012), pada penelitian ini biochar limbah sagu mampu meningkatkan retensi air sekitar 80%, beberapa unsur hara makro sekunder (N, P, K) pada Ultisol dapat meningkatkan daya pegang tanah sekitar 66%. Pengujian kemampuan biochar limbah sagu sebagai amelioran tanah, pada percobaan respon tanaman jagung dengan beberapa taraf dosis biochar memperlihatkan pertumbuhan tanaman tercukupi nutrisi (Bantuan HIBAH BERSAING anggaran tahun 2013). Uji Pengaruh pemberian biochar terhadap produksi jagung, pada percobaan ini biochar yang digunakan mampu memperbaiki sifat kimia dan biologi serta fisik tanah yang ditandai dengan produksi tanaman mencapai sekitar 9,5 ton pada kombinasi pemberian biochar dengan pupuk konvensional takaran 50% (dari takaran rekomendasi: hasil penelitian HIBAH BERSAING anggaran tahun 2013).

Limbah sagu tidak hanya dapat dimanfaatkan sebagai amelioran tanah, telah banyak muncul penelitian yang menggunakan limbah ini diantaranya sebagai media pertumbuhan jamur merang, pakan ternak, mulsa, media ulat sagu dan biodiesel (bahan baku pencampur BBM). Penelitian ini menyoroti limbah sagu dalam bentuk biochar dan kompos (dekomposisi alami umur 6 bulan) yang digunakan untuk amelioran pada tanah bereaksi masam. Tujuan penelitian ini adalah untuk meningkatkan produktivitas lahan kering sebagai lahan pertanian melalui aplikasi biochar dan kompos limbah sagu (kolisa) sebagai amelioran tanah yang murah, insitu, ramah lingkungan dan berkelanjutan.

## **METODE PENELITIAN**

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah Ultisol (tanah masam), biochar pirolisis suhu 400°C, kompos limbah sagu dekomposisi alami waktu 6 bulan yang sebelumnya telah dikarakterisasi untuk mengetahui sifat-sifat kimia yang sesuai sebagai amelioran tanah. Cara dan proses pembuatan dan karakterisasi disesuaikan dengan penelitian sebelumnya (hasil penelitian Hibah Bersaing anggaran tahun 2012 dan 2013).

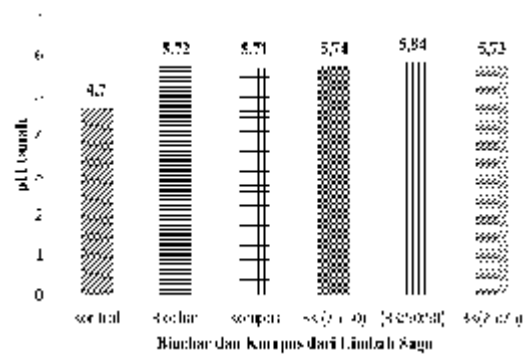
Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap faktor tunggal yaitu kombinasi biochar dan kompos dengan takaran : Kontrol (K), biochar 100% (B), kompos 100% (K), BK (75:25)%, BK (50:50)%, BK (25:75) dengan tiga ulangan. Variabel yang diamati dalam penelitian ini: pH H<sub>2</sub>O, metode/alat pH meter 1:25 (Hanudin, 2000), KTK: AAS/NH<sub>4</sub>OAc 1 N pH 7 (Balittanah, 2009), N-total: Kjeldahl (Balittanah, 2009), P-total: Spektrofotometer/1 N NH<sub>4</sub>OAc pH 7 (Hanudin, 2000; Balittanah, 2009), K-total Flamefotometer / 1 N NH<sub>4</sub>OAc pH 7 (Balittanah, 2009), C-organik: Destruksi kering (Balittanah, 2009).

Hasil penelitian dianalisis dengan menggunakan Uji-F dan dilanjutkan dengan uji beda DMRT untuk variabel yang berpengaruh nyata pada taraf ketelitian 95%. Penggunaan pengharkatan (Balittanah, 2009) dilakukan untuk memperjelas perbedaan kadar yang umumnya pada sifat kimia tanah tertentu nilainya (kadar) kecil tetapi secara kebutuhan adalah cukup untuk tanaman.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

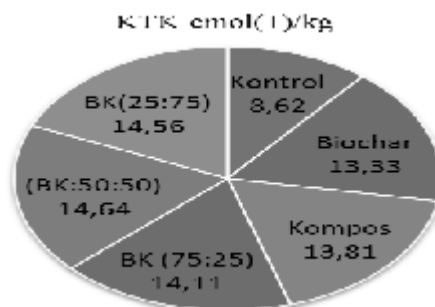
### **Peningkatan pH, KTK, N, P, K, dan C-organik Tanah Akibat Aplikasi Biochar dan Kompos setelah Inkubasi dalam Waktu 5 Minggu.**

Aplikasi limbah sagu pada Ultisol terjadi perubahan sifat kimia tanah meskipun tidak memukau seperti pengapuran maupun pupuk konvensional dalam meningkatkan pH dan unsur hara, namun terindikasi amelioran ini cocok untuk tanah bereaksi masam. Hal ini terlihat (Gambar 1, 2, 3, 4) peranan bahan organik dapat memperbaiki sifat fisik, biologi, dan kimia (penyuplai hara) secara lengkap meskipun hanya dalam jumlah yang sedikit. Keunggulan dari bahan organik dalam bentuk biochar maupun kompos dari limbah sagu ini menjamin kesesuaian struktur tanah untuk pergerakan akar dan menyediakan unsur hara secara perlahan-lahan dan stabil. Perubahan kadar beberapa sifat kimia (Gambar 1, 2, 3, 4) terjadi peningkatan setelah aplikasi biochar dan kompos. Peningkatan pH tanah sebesar (21,3%), KTK tanah (27-28,3%), untuk N terjadi kenaikan sekitar 20 kali nilai N tanah asli sedangkan P, K maupun C-organik terjadi peningkatan sekitar 2-3 kali nilai pada tanah sebelum perlakuan.



Gambar 1. Perubahan pH tanah akibat pemberian biochar dan kompos

Aplikasi biochar meski secara statistik peningkatan pH tidak berbeda nyata namun signifikan meningkatkan nilai pH maupun KTK tanah, (Gambar 1 & 2) yang mempengaruhi retensi hara dan memainkan peran kunci dalam berbagai proses biokimia tanah, terutama pada siklus hara (Liang *et al.*, 2006). Bukti menunjukkan bahwa dinamika hara tanah dapat secara signifikan dipengaruhi oleh karbon hitam (biochar) (Glaser *et al.*, 2001; Lehmann *et al.*, 2003) tanah yang kandungan biochar tinggi mampu menjaga ketersediaan kation basa (Lima *et al.*, 2002), mengurangi kehilangan N oleh pelindian (Steiner *et al.*, 2008; Lehmann *et al.*, 2011; Laird *et al.*, 2010).



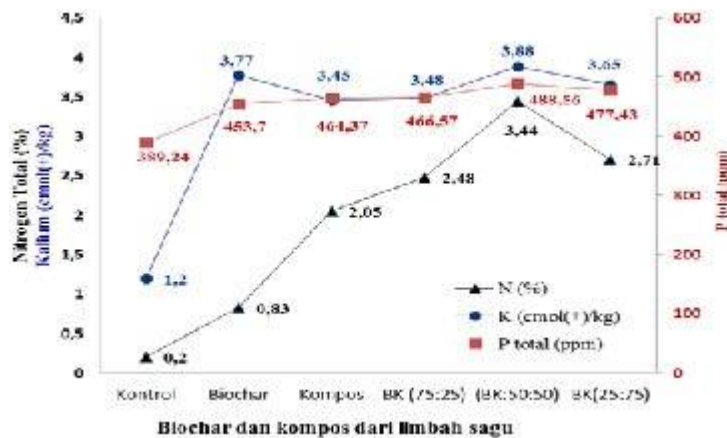
Gambar 2. Perubahan KTK tanah akibat pemberian biochar dan kompos

Aplikasi biochar ke tanah dapat meningkatkan N (Gambar 3) terbukti efisien mempertahankan amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) melalui pertukaran kation (Liang *et al.*, 2006) dan biochar segar yang diberikan ke tanah dapat mempertahankan anion seperti nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) (Cheng *et al.*, 2008). Menurut Gundale & Deluca, (2006); Kharu *et al.* (2011) meningkatnya kandungan N-total tanah terjadi karena meningkatnya proses mineralisasi sebagai akibat aktivitas mikroba tanah yang tinggi. Kondisi kemasaman tanah yang tinggi seperti Ultisol akan menurunkan aktivitas mikroba tanah akibatnya mineralisasi menurun, imobilisasi N yang pada gilirannya tidak tersedia bagi tanaman. Zhang *et al.*, (2012) menyatakan bahwa, penambahan biochar sebagai amelioran tanah selain meningkatkan N total juga meningkatkan pH.

Meningkatnya pH tanah menunjang proses mineralisasi N dalam tanah. Merkipun kompos limbah sagu cepat terdekomposisi di dalam tanah namun aplikasi bersamaan dengan biochar sehingga tetap nutrisi tanaman tercukupi. Sifat khas biochar adalah tahan terhadap perombakan mikroorganisme tanah sehingga lebih stabil, akibatnya dapat mempertahankan kondisi pH tanah dalam waktu yang lama dengan demikian dapat meningkatkan mineralisasi, N akan perlahan-lahan dilepas kemudian tersedia untuk pertumbuhan tanaman. Hal ini dapat mengurangi kehilangan N tersedia karena denitrifikasi, penguapan sebagai  $\text{N}_2\text{O}$  dan meningkatkan hasil panen.

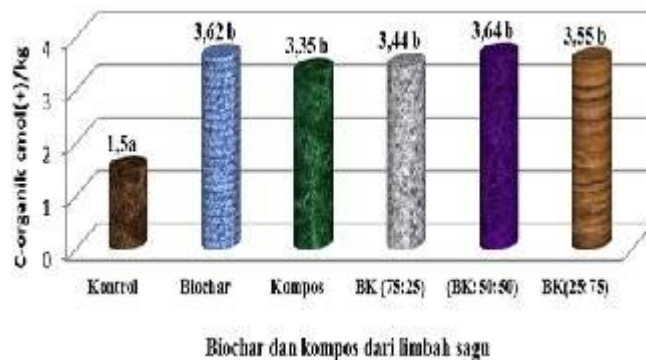
Peningkatan kandungan P tanah (Gambar 3) dipengaruhi oleh bahan organik yang digunakan. Mutu bahan organik akan menunjang mekanisme biokimia yang berlangsung di dalam tanah peristiwa biokimia selain mineralisasi dari karbon pada kompos maupun biochar

adalah kemampuan kompleksasi dengan logam, seperti dengan Fe dan Al di tanah dengan demikian P tersedia bagi tanaman. Menurunnya fiksasi Al-P, dan Fe-P dipengaruhi oleh pH tanah. aplikasi biochar dan kompos limbah sagu meningkatkan pH dari 4,7 menjadi sekitar 5,8 pada kondisi kemasaman tanah seperti ini mampu menjamin pertumbuhan tanaman. Peningkatan pH dan penurunan fiksasi P dapat terjadi karena peranan kompos dan biochar. Meskipun biochar memiliki struktur kimia C sangat aromatik (Schmidt & Noack, 2000), namun kemungkinan oksidasi abiotik, oksidasi mikroba, dan pembentukan gugus fungsional pada permukaan partikel C negatif tidak dapat diabaikan (Schmidt *et al.*, 2002). Dengan demikian kompleksasi terus berlangsung karena biochar stabil di dalam tanah. Kombinasi kedua bahan organik (biochar & kompos) dengan peranan berbeda biochar sebagai amelioran sedangkan kompos sebagai suplai hara. Peluang permukaan biochar mengalami oksidasi dapat terjadi tergantung bahan baku dan proses pirolisis. Oksidasi permukaan biochar ini yang berperan meningkatkan pH, KTK tanah dan mekanisme transformasi hara terutama N dan P dalam tanah (Liang *et al.*, 2006).



Gambar 3. Perubahan N, P, K tanah akibat pemberian biochar dan kompos

Kandungan K tanah setelah aplikasi biochar dan kompos terjadi perubahan nilai menjadi lebih tinggi dibanding tanah kontrol. Hal ini selain dipasok oleh kompos juga atas peran biochar, masing-masing biochar: pH tinggi sekitar 9,7 dan nilai KTK mencapai 28 cmol(+)/kg; kompos: pH 6,6, KTK sebesar 49,79 cmol(+)/kg (Latuponu *et al.*, 2012). Berdasarkan komposisi sifat kimia maupun peranan gugus fungsional kaboksilat dan aromatik (Latuponu *et al.*, 2013) amelioran biochar maupun kolisa meningkatkan muatan negatif tanah sehingga kandungan K lebih tinggi dibanding pada tanah tanpa perlakuan. Kandungan K tanah pada kontrol dan perlakuan lebih rendah. Hal ini diantaranya dipengaruhi oleh pelepasan (pencucian) hara K pada tanah tanpa amelioran ini tidak terkendali.



Gambar 4. Perubahan C-organik tanah akibat pemberian biochar dan kompos

Kandungan C-organik umumnya tidak dipengaruhi langsung oleh adanya input baik bahan organik maupun pupuk konvensional. Berbagai laporan penelitian menyatakan bahwa penambahan bahan organik tidak meningkatkan kandungan C-organik secara langsung. Namun kadar C-organik akan meningkat di dalam tanah diduga setelah interaksi bahan organik dengan berbagai konstituen tanah lainnya berlangsung secara rumit yang menyebabkan adanya peningkatan kadar C-organik tanah. Hasil penelitian (Gambar 4) menunjukkan bahwa terjadi peningkatan C-organik dari 1,5 menjadi 3,64 cmol(+)/kg, artinya penambahan kompos biochar maupun kompos sesuai sehingga dinamika reaksi hara dalam tanah berlangsung dengan lancar. Peningkatan ini diduga akibat kandungan karbon pada kompos sekitar 30% dan biochar sekitar 48% dari limbah sagu (Latuponu et al., 2014). Kadar karbon pada kedua bahan ini berharkat tinggi-sangat tinggi (SNI, 1995; Firman *et al.* 2004; Lehman, 2007) sesuai untuk tanah masam.

## KESIMPULAN

Pemberian kombinasi kompos dan biochar limbah sagu meningkatkan kesuburan tanah. Perlakuan biochar dan kompos limbah sagu pada perbandingan (BK 50:50%) dari takaran 6 ton per hektar merupakan takaran yang tinggi meningkatkan pH tanah (5,8), KTK (14,64 cmol(+)/kg), unsur hara N-total (3,44%), P-total (488,56 ppm), K-total (3,88 cmol(+)/kg), dan C-organik tanah sebesar (3,64 %).

## DAFTAR PUSTAKA

- Cheng, C.H., J. Lehmann, & M.H. Engelhard. 2007. Natural Oxidation of Black Carbon in Soils: Changes in Molecular Form and Surface Charge Along A Climosequence. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 72 (2008) 1598–1610.
- Firman, L., Sahwan, R., Irawati, F., Suryanto. 2004. Efektivitas Pengomposan Sampah Kota dengan Menggunakan “Komposter” Skala Rumah Tangga. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. P3TL-BPPT. 5(2).134-139.
- 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(1): 37-41.
- Glaser, B., J. Lehmann, 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.
- Gundale, M.J., TH. DeLuca. 2006. Temperature and Substrate Influence the Chemical Properties of Charcoal in The Ponderosa Pine/Douglas-Fir Ecosystem. *Forest Ecology and Management* 231, 86e93.
- Handayanto, E. & Hairiah, K. 2007. *Biologi Tanah Landasan Pengelolaan sehat*. Pustaka Adipura. 196 h.
- Handayanto, E. & Sholihah, A. 2010. Nitrogen Mineralization by Maize from Previously Added Legume Residues Following Addition of New Legume Residues Using “N Labelling Technique, *Journal of Tropical Agriculture* 48(1-2):23-27.
- Hanudin, E. 2000. *Pedoman Analisis Kimia Tanah (Dilengkapi dengan teori, prosedur dan keterangan)*. Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian UGM. Yogyakarta. Tidak diterbitkan. 70.h.
- Karhua, H., T. Mattilab, I. Bergstroma, K. Regina. 2012. Biochar Addition to Agricultural Soil Increased CH<sub>4</sub> Uptake and Water Holding Capacity – Results from A Short-Term Pilot Field Study. *ELSEVIER. J. Agriculture, Ecosystems and Environment* 140 (2011) 309–313.
- Laird, D., P Flaming, D. D. Davis, R Horton, B Wang, & D. L. Karlen. 2010b. Impact of Biochar Amendments On The Quality of A Typical Midwestern Agricultural Soil. *Journal. Elsevier. Geoderma* 158 (2010) 443–449
- Latuponu H, 2013. Pemanfaatan Biochar Limbah Sagu Untuk Meningkatkan Ketersediaan N, P, K, Stok Karbon Tanah Dan Hasil Tanaman Jagung Di Ultisol. *Disertasi*. Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

- Latuponu H, D. Shiddieq, A. Syukur, E.Hanudin, 2012. Pemanfaatan Limbah Sagu sebagai Bahan Aktif Biochar untuk Meningkatkan P tersedia dan Pertumbuhan Jagung di Ultisol. **Jurnal Pembangunan Pedesaan** (Journal of Rural Development). LPPM. Unsoed. ISSN. 1411-9250. H 136-143.
- Latuponu H, L. Muhuria, A. Herawati, 2012. Pemanfaatan Limbah Sagu Sebagai Amelioran Tanah: Kajian Daya Sangga Biochar dan Kompos Limbah Sagu (Kolisa) terhadap  $\text{NH}_4^+$ , P-tersebut, dan  $\text{K}^+$  di Tanah Ultisol. Laporan Hibah Penelitian Anggaran tahun 2012. Telah disampaikan pada *seminar Nasional* di UNITRI MALANG.
- Latuponu H, L. Muhuria, A. Herawati, 2013. Pemanfaatan Biochar Dan Kompos Dari Limbah Sagu Sebagai Amelioran Tanah Untuk Meningkatkan Produksi Tanaman Jagung Di Lahan Kering Masam. Laporan Hibah Penelitian Anggaran tahun 2013. Telah disampaikan pada *seminar Nasional Hasil-Hasil Penelitian Pertanian II*. Penataan Ruang dan Kebijakan Pembangunan Pertanian untuk Percepatan Kedaulatan Pangan. 9 September 2013 di Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Latuponu H, S. Karepesina, Sulakudin, 2014. Aplikasi Amelioran Biochar Dan Kompos Dari Limbah Sagu Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Jagung Pada Lahan Kering Masam Di Maluku Tengah. Laporan Hibah Penelitian Anggaran tahun 2014. Telah disampaikan pada *seminar Nasional. Pengelolaan Biomasa untuk Konservasi Lahan dan Sistem Pertanian Terpadu* 18 Juni 2014 di UNITRI. Malang.
- Liang, B, J. Lehmann, D. Solomon, J. Kinyangi, J. Grossman, B. O'Neill, J. O. Skjemstad, J. Thies, F. J. Luizaõ, J. Petersen, & E. G. Neves. 2006. Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils. Published online August 22, 2006. SOIL SCI. SOC. AM. J., VOL. 70, hal 1719-1730 *Life Sciences*, Cornell University, Ithaca, NY 14853 (CL273@cornell.edu) *Front Ecol Environ*. 2007; 5(7): 381–387
- Lehmann, J., J.P. da Silva, 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 Soil* 249:343–357.
- Lehmann, J. 2007. Bio-energy in the black. Department of Crop and Soil Sciences, College of Agriculture and Life Sciences, Cornell University, Ithaca, NY 14853 (CL273@cornell.edu). © The Ecological Society of America. *Front Ecol Environ* 2007; 5(7): 381–387.
- Lehmann, J. & S. Joseph, 2009. Biochar for Environmental Management. First Published by Earthscan in The UK and USA in 2009. P416.
- Lehmann, J, M.C. Rillig, J. Thies, C.A. Masiello, W. C. Hockaday, D. Crowley. 2011. Biochar Effects on Soil Biotae A Review. ELSEVIER. *Journal. Soil Biology & Biochemistry* 43 (2011) 1812-1836
- Schmidt, M.W.I., and A.G. Noack. 2000. Black Carbon in Soils and Sediments: Analysis, Distribution, Implications, and Current Challenges. *Global Biogeochem. Cycles* 14:777–793.
- Schmidt, M.W.I., J.O. Skjemstad, and C. Jager. 2002. Carbon Isotope Geochemistry and Nanomorphology of Soil Black carbon: Black Chernozemic Soils in Central Europe Originate from Ancient Biomass Burning. *Global Biogeochem. Cycles* 16:1123.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 1995. Mutu dan Cara Uji Arang Aktif Teknis. Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-3730-1995. Dewan Standar. Jakarta
- Steiner, C., B.Glaser, W. G., Teixeira, J. Lehmann, W. E. H., Blum, and W. Zech. 2008. Nitrogen Retention and Plant Uptake on A Highly Weathered Central Amazonian Ferralsol amended with compost and charcoal. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 171(6): 893-899.
- Subagyo, A., N. Suharta, dan A. B. Siswanto. 2000. Tanah-tanah Pertanian Di Indonesia. Dalam Sumberdaya Lahan Indonesia dan Pengelolaannya. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Badan Penelitian dan Pengembangan. Departemen Pertanian, Bogor.
- Verheijen, F., S. Jeffery, A. C. Bastos, M. Van der Velde, I. Diafas. 2010. Biochar Application to Soil. A critical scientific Review of Effects on soil propestis, processes and functions. European Commission. JRC Scientific and Technical Reports.

- Widowati. 2011. Penggunaan Biochar untuk Meningkatkan Efisiensi Pemupukan Nitrogen. Disertasi. Program Ilmu-Ilmu Pertanian Minat Tanah dan Sumberdaya Lahan. Program Pasca Sarjana. Brawijaya, Malang.
- Zhang, A, R. Bian, G. Pan, L. Cui, Q.Hussain, L. Li, J. Zheng, J. Zheng, X. Zhang, X. Han, X. Yu., 2012. Effects of Biochar Amendment On Soil Quality, Crop Yield And Greenhouse Gas Emission In A Chinese Rice Paddy: A Field study of 2 Consecutive Rice Growing Cycles. ELSEVIER. *J. Field Crops Research* 127 (2012) 153–160.