

DESAIN INSTALASI PIROLISIS LIMBAH PERTANIAN DALAM RANGKA MINIMALISASI EMISI GAS RUMAH KACA DARI LAHAN BASAH

Abdul Hadi^{1*}, Abdul Gafur², Udiyantoro¹, Mukhlis³

¹Fakultas Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat

Jl. A. Yani KM 36, Banjarbaru

²Program Studi Pengelolaan Sumber Daya Alam, Universitas Brawijaya

Jl. Mayjen Haryono 169, Malang

³Balai Penelitian Tanah Rawa

Jl. Kebun Karet, Banjarbaru

*email: yatakhadi@yahoo.co.id

Abstrak

Lahan basah di Indonesia mencapai 32 juta ha dan ditengarai sebagai sumber emisi gas rumah kaca (GRK) berupa CH₄, N₂O dan CO₂ sehingga perlu usaha-usama minimalisasi emisi gas-gas tersebut ke atmosfer. Limbah pertanian lahan basah merupakan sumber emisi GRK yang dihasilkan ketika limbah tersebut dibakar dalam rangka pengendalian hama penyakit, produksi abu untuk pemupukan, atau mengalami dekomposisi oleh mikroorganisme pada lahan. Salah satu teknik yang dipraktekkan oleh industri untuk membakar limbah adalah dengan pirolisis, yaitu membakar pada instalasi dimana suplai oksigen bisa dikurangi sehingga dapat meminimalisasi emisi GRK sambil menghasilkan biochar. Harga instalasi pirolisis yang tersedia dapat mencapai 50 miliar rupiah, sehingga tidak terjangkau oleh penggilingan padi, koperasi maupun petani secara individu. Penelitian ini bertujuan mendesain instalasi pirolisis rendah emisi GRK dengan biaya terjangkau oleh pengusaha penggilingan padi dan/atau koperasi (> Rp 5 juta). Desain yang diuraikan meliputi instalasi ceret, drum tunggal dan drum ganda dengan kelebihan, kekurangannya serta prospek pengembangannya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa instalasi dengan ceret dapat menghasilkan biochar (1) biaya murah, (2) rendemen rendah, (3) kapasitas kecil (>500 gr), sedangkan instalasi wajan dan drum tunggal (1) rendement tinggi, (2) biaya murah, (3) asap cair tidak dapat ditampung. Desain instalasi dengan kombinasi drum-wajan mempunyai (1) rendement tinggi, (2) kapasitas memadai, (3) asap 100% bisa ditampung sehingga berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut. Hasil pengujian biochar terhadap lahan basah menunjukkan bahwa aplikasi biochar mampu meningkatkan populasi mikroorganisme tanah dengan tanpa peningkatan signifikan pada emisi GRK.

Kata Kunci: *biochar, gas rumah kaca (GRK), kombinasi drum-wajan, sekam padi, tanah lahan basah*

PENDAHULUAN

Lahan basah di Indonesia mencapai 32 juta ha dan ditengarai sebagai sumber emisi gas rumah kaca (GRK) berupa CH₄, N₂O dan CO₂ sehingga perlu usaha-usama minimalisasi emisi gas-gas tersebut ke atmosfer. Emisi GRK menyebabkan kenaikan suhu permukaan bumi yang selanjutnya merubah pola hujan dan curah hujan. Kenaikan suhu, perubahan pola dan curah hujan menyebabkan penurunan produksi akibat sawah kebanjiran atau kekeringan, perubahan fisiologi tanaman padi dan serangan hama/penyakit tanaman. Perubahan iklim ini menyebabkan bahan pangan cepat rusak akibat serangan mikroorganisme pembusuk makanan.

Limbah pertanian lahan basah merupakan sumber emisi GRK yang dihasilkan ketika limbah tersebut dibakar dalam rangka pengendalian hama penyakit, produksi abu untuk pemupukan, atau mengalami dekomposisi oleh mikroorganisme pada lahan. Karena merupakan hasil samping dari perombakan bahan organik oleh bakteri “methanogens” pada kondisi anaerobik, metana banyak dihasilkan pada lahan basah. Reaksi merubah substrat menjadi CH₄ melibatkan berbagai enzim. Substrat yang dapat dirubah menjadi CH₄ antara lain CO₂, asetat, format, alkohol dan formaldehida (Bouwman, 1990).

Salah satu teknik yang dipraktekkan oleh industri untuk membakar limbah adalah dengan pirolisis, yaitu membakar pada instalasi dimana suplai oksigen bisa dikurangi. Dengan metode ini, akan dihasilkan bahan sisa berupa rantai karbon dengan banyak rongga yang disebut biochar.

Harga instalasi pirolisis yang tersedia dapat mencapai 50 miliar rupiah, sehingga tidak terjangkau oleh penggilingan padi, koperasi maupun petani secara individu.

Penambahan biochar ke tanah meningkatkan ketersediaan kation utama dan P, sebagaimana halnya total konsentrasi N dalam tanah. KTK dan pH sering meningkat, berturut-turut sampai 40% dari KTK awal dan sampai satu unit pH. Tingginya ketersediaan hara bagi tanaman merupakan hasil dari bertambahnya nutrisi secara langsung dari biochar dan meningkatnya retensi hara (Chan dkk., 2008; Lehmann dkk., 2003; Sohi, 2009). Disimpulkan bahwa biochar dapat berperan sebagai pembenah tanah yang memacu pertumbuhan tanaman dengan mensuplai dan yang lebih penting menahan hara, di samping berbagai peran lainnya yang dapat memperbaiki sifat fisik dan biologi tanah. Lehmann dkk. (2003) dengan penelitian pot menggunakan tanaman kacang tunggak (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) dan padi (*Oryza sativa* L.) menyimpulkan bahwa penambahan biochar nyata meningkatkan pertumbuhan dan nutrisi tanaman. Walau konsentrasi N daun berkurang, serapan P, K, Ca, Zn, dan Cu oleh tanaman bertambah dengan makin tingginya penambahan biochar. Pencucian dari pupuk N yang diberikan berkurang nyata dengan pemberian biochar, sedangkan pencucian Ca dan Mg diperlambat. Mukhlis (2011) melaporkan bahwa biochar dari limbah pertanian sekam padi dapat meningkatkan kualitas sifat kimia (pH, C-organik, P-tersedia) tanah sulfat masam Kalsel. Namun demikian, emisi GRK dari aplikasi biochar pada tanah lahan basah masih belum banyak diteliti.

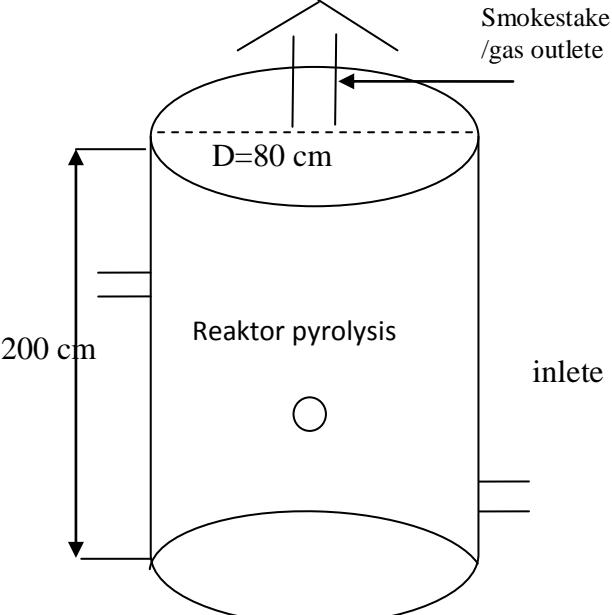
Penelitian ini bertujuan mendesain instalasi pirolisis penghasil biochar dengan biaya rendah (< Rp 5 juta) dan mengukur emisi GRK terhadap aplikasi biochar pada tanah lahan basah.

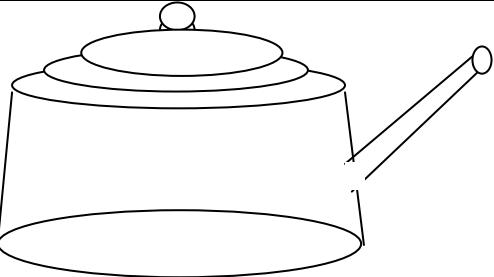
BAHAN DAN METODE

Desain Alat Pirolisis

Sekam padi, tandan kosong kelapa sawit (TKKS), rerumputan atau tepung singkong dikeringkan sampai mencapai kadar air < 20%. Rerumputan dan TKKS terlebih dahulu dicacah dengan ukuran 1-2 cm sebelum digunakan. Limbah-limbah tersebut dibakar secara terpisah pada ceret (volume \pm 5 L), drum tunggal (volume 200 L) atau drum ganda (volume 400 L dan duhubungkan dengan kondensor dan instalasi penampung asap cair) sekitar 3,5 – 4 jam. Sampel gas diambil dari out-let pirolisis dan digunakan untuk penetapan konsentrasi CO₂, N₂O dan CH₄ menggunakan kromatografi gas. Masing-masing perlakuan kemudian di-ranking berdasarkan emisi gas, berat biochar dan asap cair yang dihasilkan.

Deskripsi dari instalasi pirolisis, jenis limbah yang dibakar dan parameter biochar yang diamati dapat diringkas sebagai berikut:

Instalasi Pirolisis		Jenis Limbah	Parameter yang diamati
Nama	Foto/sketsa		
Kombinasi Drum-wajan		Sekam padi	Efisiensi (1), distribusi ukuran (2), kadar air (3), daya simpan air (4) dan asap cair (5)
Drum tunggal	 <p>TKKS Sekam padi Rerumputan</p>		Parameter 1, 2, 3, 4 dan emisi gas

Wajan		Sekam padi	Parameter 1, 2, 3, 4 dan kadar abu
Ceret		Kompos TKKS Kompos rerumputan Kotoran sapi Kotoran ayam	Parameter 1, 2, 3, 4 dan emisi gas

Emisi Gas dari Lahan Basah

Persiapan lahan dan pemberian perlakuan. Penelitian dimulai dengan melakukan survei lapangan terlebih dahulu untuk menentukan lokasi penelitian yaitu pada tanah gambut yang terdapat kelapa sawit berumur satu tahun. Dipilih empat tanaman untuk diberi arang sekam hasil pirolisis menggunakan drum sebagai perlakuan pemberian bahan pembenthal tanah. Selain arang sekam padi, terhadap setiap empat tanaman kelapa sawit diberikan air asam tambang, pupuk besi dan tanpa pemberian bahan pembenthal sebagai pembanding. Bahan-bahan ditempatkan secara acak dengan cara ditebar 25 cm dari batang tanaman kelapa sawit. Dosis arang sekam padi dan pupuk besi adalah satu ton per hektar, sedangkan dosis air asam tambang adalah 15 mL/100 gr.

Pengambilan sampel tanah dan gas. Fluks gas N₂O akan diambil dengan menggunakan sungkup. Sungkup (*chamber*) ukuran 50 cm x 50 cm x 100 cm yang terbuat dari polikarbonat. Sungkup dipasang sedemikian rupa sehingga semua bagian tanaman tertutupi dan bagian bawah sungkup masuk kedalam tanah sedalam 1-2 cm. Pengambilan contoh gas dalam sungkup dilakukan empat kali dengan interval waktu pengambilan contoh gas 2, 7, dan 12 menit. Contoh gas diambil dengan menyedot udara kedalam alat suntik dan memindahkannya kebotol vakum (volume 22 mL). Setiap pengambilan contoh gas, perubahan suhu dalam sungkup diukur.

Pada minggu ke 15 setelah perlakuan, diambil sampel tanah komposit dari area dalam radius 25 cm dari tanaman dan kedalaman 0-30 cm dan digunakan untuk penetapan populasi bakteri, fungi dan aktinomisetes dengan metode *plate count* seperti yang digambarkan oleh Page et al (1985).

Penghitungan emisi Gas dan Populasi Mikroorganisme Tanah. Flux gas (g C atau N/m²/jam) dihitung dengan rumus:

$$F = k \cdot h \cdot dc/dt (273/T) \quad (1)$$

dimana: k = tetapan konversi volume ke berat gas (N₂O = 1.250; CO₂ = 0.536), h = tinggi sungkup (meter), dc/dt = perubahan konsentrasi (ppm) per unit waktu (jam) dan T = suhu udara didalam sungkup (°K). Potensi pemanasan global dihitung dengan memperhatikan daya pemanasan mol 1 untuk CO₂, dan 296 untuk N₂O (Bouwman 1990).

Potensi pemanasan global dihitung dengan mengalikan flux dengan daya pemanasan masing-masing gas dengan rumus berikut (Hadi et al 2012):

$$GWP CO_2 = 44/12 * \text{Emisi CO}_2 \quad (2)$$

$$GWP CH_4 = 44/16 * 25 * \text{Emisi CH}_4 \quad (3)$$

$$GWP N_2O = 44/28 * 296 * \text{Emisi N}_2O \quad (4)$$

$$GWP \text{ Total} = GWP CO_2 + GWP CH_4 + GWP N_2O \quad (5)$$

Jumlah koloni bakteri, fungi dan actinomycetes dihitung dengan rumus menurut Page dkk. (1985);

$$\sum \text{mikroorganisme} = \text{nilai MPN} \times 1 \times C \times WS/DS \quad (6)$$

Keterangan :

\sum mikroorganisme = Jumlah mikroorganisme (CFU/g)

Nilai MPN = diperoleh dari tabel MPN

1 = volume suspensi (mL)

C = konsentrasi pengenceran sampel

WS/WD = Berat tanah basah/berat tanah kering.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain Pirolisis

Pirolisis merupakan proses pembakaran bahan organik dengan konsentrasi oksigen rendah. Pirolisis akan menghasilkan gas-gas (terutama CO, H₂ dan CH₄), arang, abu, dan material tak terbakar sebagai produk ikutan (Kappmann, 2005). Hasil uji coba pembakaran sekam menggunakan drum tunggal yang dilakukan pada awal penelitian ini diperlihatkan pada Tabel 1. Konsentrasi ketiga gas yang lebih tinggi dari udara bebas menunjukkan bahwa emisi CO₂, CH₄ dan N₂O terjadi pada

pirolisis. Pola emisi berubah dari waktu ke waktu masing-masing rendah-tinggi-rendah, tinggi-rendah-tinggi dan tinggi-rendah-rendah untuk emisi CO₂, CH₄ dan N₂O (Tabel 1).

Tabel 1. Emisi CO₂, CH₄ and N₂O selama produksi biochar

Gases/Replicates	CO ₂ (ppm)	CH ₄ (ppm)	N ₂ O (ppb)
Burning 1 hour	443.81	3.94	390.6
Burning 2 hour	447.02	2.59	363.2
Burning 3 hour	444.33	3.66	341.6
Average	445.05	3.40	365.1

Udara ambien: CO₂ = 350 ppm, CH₄ = 1.7 ppm and N₂O = 350 ppb)

Komposisi dari produk pirolisis tergantung beberapa faktor, antara lain (1) suhu pembakaran, (2) kadar air bahan yang dibakar, (3) kerapatan bahan, dan (4) ukuran bahan (Kappmann, 2005). Hasil penelitian menunjukkan bahwa instalasi pirolisis dengan menggunakan ceret menghasilkan efisiensi antara 28.1%-64% dan kadar abu antara 36.0-71.9%. Distribusi ukuran partikel biochar dari TKKS, kotoran ayam dan kotoran sapi relatif sama yaitu kebanyakan berukuran antara 2-4 mm (Tabel 2). Kadar abu yang tinggi menunjukkan bahwa kualitas biochar yang rendah sehingga pirolisis dengan ceret ini tidak direkomendasikan untuk ditindak-lanjuti.

Pirolisis dengan drum menghasilkan efisiensi sedang (50% pada sekam padi) dengan kualitas rendah (kadar abu 50%). Efisiensi pirolisis menggunakan wajan cukup tinggi (57.3%) dengan kualitas biochar cukup baik (kadar abu 5.7 %) (Tabel 2). Suhu wajan saat membakar rata-rata 140°C, sedangkan suhu sekam yang sedang terbakar adalah 170°C. Namun demikian, asap yang terbentuk tidak bisa ditangkap sehingga cukup mengganggu/mencemari udara sehingga perlu disempurnakan.

Kombinasi wajan-drum mampu menghasilkan biochar dengan efisiensi lebih tinggi (60.0% pada sekam padi) dari desain wajan (Tabel 2). Pada desain kombinasi ini asap bisa ditampung sehingga tidak menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan sehingga dapat direkomendasikan untuk dikembangkan lebih lanjut antara lain dengan memanfaatkan asap cair untuk keperluan pengawetan bahan pangan, pestisida (Darmadji, 2012).

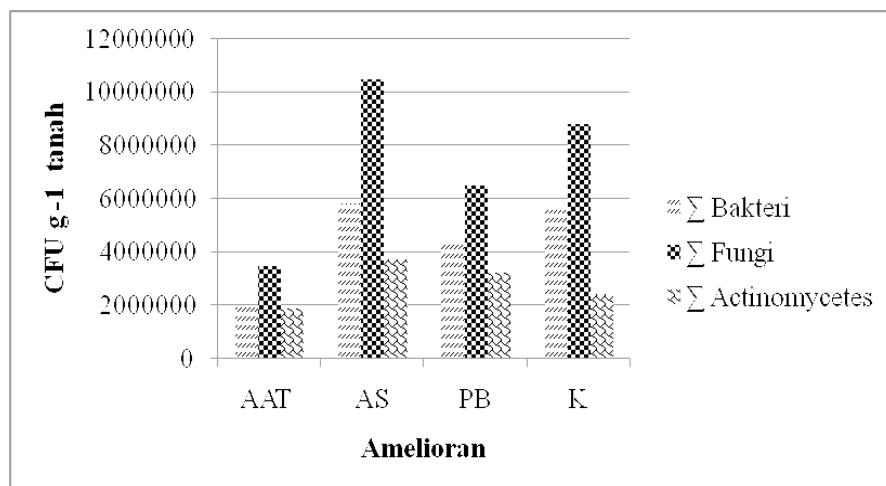
Table 2. Charring efficiency and physical properties of produced biochar from various sources

Instalasi pirolisis	Jenis limbah	Efisiensi* (%)	Biochar 4 mm<	Biochar 4 mm ø (%)	Biochar 2 mm ø (%)	Kadar abu (%)	Kadar air (%)	Daya menyimpan air (%)
Ceret	Kompos TKKS	47.3	38.5	61.5	53.8	52.7	4.9	177.3
	Kompos rerumputan	28.1	10.6	89.4	72.3	71.9	3.4	90.4
	Kotoran sapi	32.0	34.4	65.6	43.8	68.0	0.6	35.6
	Kotoran ayam	64.0	40.6	59.4	35.9	36.0	1.3	125.1
Wajan	Sekam	57.3	nd	nd	52.2	5.73	4.1	nd
Drum	TKKS	88.9	15.6	84.4	71.9	11.1	nd	171.3
	Sekam padi	50.0	7.4	92.6	69.5	50.0	nd	157.1
	Rerumputan	nd	17.5	82.5	68.4	nd	0.8	180.8
Kombinasi wajan-drum	Sekam	60.0						

Note: *Efisiensi (%) =berat sebelum dibakar/berat setelah dibakar x 100%

Aplikasi Biochar terhadap Populasi Mikroorganisme dan Emisi Gas Rumah Kaca dari Lahan Basah

Biochar merupakan sering juga disebut charcoal atau agri-char. Di dalam tanah, biochar menyediakan habitat yang baik bagi mikroba tanah, tapi tidak dikonsumsi seperti bahan organik lainnya. Dalam jangka panjang biochar tidak mengganggu keseimbangan karbon-nitrogen, bahkan mampu menahan dan menjadikan air dan nutrisi lebih tersedia bagi tanaman. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa aplikasi biochar meningkatkan populasi bakteri, fungi dan aktinomisetes tanah lahan basah (Gambar 1). Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Lehmann dan Rondon (2006) serta Lehmann dkk. (2007) yang melaporkan bahwa biochar menyediakan media tumbuh yang baik bagi berbagai mikroba tanah. Populasi tinggi mikroorganisme tanah menunjukkan bahwa kesuburan tanah dan produksi tanaman juga dapat ditingkatkan (Gani, 2010).



Gambar 1. Populasi mikroorganisme tanah lahan basah pemberian biochar (AS), air asam tambang (AAT), pupuk besi (PB) dan perakuan kontrol (K).

Aplikasi biochar ke dalam tanah merupakan pendekatan baru dan unik untuk menjadikan suatu penampung (sink) bagi CO₂ atmosfir jangka panjang dalam ekosistem darat. Dalam proses pembuatannya, sekitar 50% dari karbon yang ada dalam bahan dasar akan terkandung dalam biochar, dekomposisi biologi biasanya kurang dari 20% setelah 5-10 tahun, sedangkan pada pembakaran hanya 3% karbon yang tertinggal.

Tabel 3 menunjukkan emisi dan potensi pemanasan global N₂O dan CH₄ dari tanah lahan basah sebagai pengaruh aplikasi biochar dan bahan lainnya. Emisi N₂O tertinggi ditunjukkan oleh perlakuan kontrol, diikuti oleh perlakuan air asam tambang dan pupuk besi. Perlakuan dengan arang sekam memberikan emisi N₂O terendah. Meskipun perlakuan dengan biochar menunjukkan emisi N₂O yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya, ketika dihitung bersama-sama dengan CH₄ yang dinyatakan dengan total potensi pemanasan global tidak menunjukkan pengaruh nyata (Tabel 3).

Tabel 3. Emisi dan potensi pemanasan global (PPG) CH₄ dan N₂O dari tanah lahan basah sebagai pengaruh aplikasi biochar dan bahan lainnya

Amelioran	N ₂ O		CH ₄		Total PPG
	Emisi	PPG	Emisi	PPG	
Air asam tambang (AAT)	0.3220	149.757	0.7453	62.855	212.642
Arang sekam (AS)	0.0393	51.538	2.2613	201.253	252.791
Pupuk besi (PB)	0.1108	118.565	0.3335	28.125	146.690
Tanpa ameliorasi/kontrol (K)	0.3708	172.473	0.8682	73.221	245.694

$$\text{Total PPG} = \text{PPG N}_2\text{O} + \text{PPG CH}_4$$

Peningkatan populasi mikroorganisme (Gambar 1) akibat pemberian biochar yang tidak diikuti oleh peningkatan emisi gas menunjukkan bahwa mikroorganisme yang berkebang adalah mikroorganisme non-GRK. Hal ini mengindikasikan bahwa pemberian biochar terhadap tanah lahan basah dapat dilakukan dalam rangka meningkatkan kualitas tanah dan produktivitas tanaman.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari uraian diatas dapat dirumuskan kesimpulan dan saran sebagai berikut:

1. Instalasi dengan ceret dapat menghasilkan biochar (1) biaya sangat murah, (2) efisiensi rendah, (3) kualitas biochar rendah, sedangkan instalasi wajan dan drum (1) efisiensi tinggi, (2) biaya murah, (3) asap cair tidak dapat ditampung. Desain instalasi kombinasi drum-wajan mempunyai (1) rendement tinggi, (2) biaya murah, (3) asap bisa ditampung sehingga berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut.
2. Hasil pengujian biochar terhadap lahan basah menunjukkan bahwa aplikasi biochar mampu meningkatkan populasi mikroorganisme tanah dengan tanpa peningkatan signifikan pada emisi GRK.
3. Instalasi kombinasi drum-wajan disarankan dikembangkan lebih lanjut misalnya dengan meneliti manfaat asap cairnya untuk pengawet bahan pangan, anti-mikroba dan/atau pestisida.

DAFTAR PUSTAKA

- Bouwman, A.F, (1990), Soil and Greenhouse Gases. John Willy and Son. Singapore
- Chan, K.Y., L. van Zwieten, I. Meszaros, A. Downie, and S. Joseph, (2008), Using poultry litter biochars as soil amendments. Australian J. of Soil Res. 46 (5): 437-444.
- Darmadji, P, (2012), Pemanfaatan cangkang kelapa sawit untuk produksi biopreservatif dan bioflavor serta aplikasinya untuk meningkatkan pengawetan pangan, latek karet dan kayu, Prosidings Seminar Nasional dan Kongres Maksi 2012, Bogor.
- Gani, A, (2010), Multiguna Arang-Hayati Biochar. Sinar Tani. Edisi 13-19 Oktober 2010.
- Hadi A., Fatah, L., Syaifuddin, Abdullah, Affandi, D.N., Bakar, R.A., and Inubushi, K, (2012), Greenhouse gas emissions from paddy field, oil palm and vegetable in Kalimantan, Indonesia. J. Tropical Soil, 17. 105-114 pp.
- Kappmann, R, Czapiewski, KV, and Reit, JS, (2005), A review of biomass burning emissions, part I: gaseous emissions of carbon monoxide, methane, volatile organic compound and nitrogen containing compounds. Atmos. Chem. Phys. Discuss. 5, p 10455-10516.
- Lehmann, J., J.P. da Silva Jr., 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.
- Mukhlis, (2011), Pengaruh pembaharuan tanah biochar terhadap kualitas kimia tanah dan pertumbuhan padi pada tanah sulfat masam. Laporan Hasil Penelitian Kerjasama Indonesia - Norwegia. (belum dipublikasikan).
- Page A.L., R.H. Miller, and D.R. Keeny, (1982), Method of Soil Analysis. Amer. Agronomy, Inc., Wisconsin.