

# Potensi berbagai bahan organik rawa sebagai sumber biochar

## Potency of various organic materials from swampland as a source of biochar

ENI MAFTU'AH<sup>1,\*</sup>, DEDI NURSYAMSI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa (Balittra), Jl. Kebun Karet PO Box 31, Loktabat Utara, Banjarbaru, Kalimantan Selatan.  
Tel./Fax. +62-511-4772534, \*email: eni\_balittra@yahoo.com

<sup>2</sup>Balai Besar Sumber Daya Lahan Pertanian (BBSDLP), Kampus Penelitian Pertanian Cimanggu, Jl. Tentara Pelajar No. 12 Cimanggu, Bogor 16111, Jawa Barat

Manuskrip diterima: 9 Februari 2015. Revisi disetujui: 5 Mei 2015.

**Abstrak.** Maftu'ah E, Nursyamsi D. 2015. Potensi berbagai bahan organik rawa sebagai sumber biochar. Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon 1: 776-781. Pemanfaatan lahan rawa dihadapkan pada beberapa masalah, antara lain kesuburan tanah yang sangat rendah dan masalah lingkungan, terutama emisi gas rumah kaca. Biochar merupakan arang aktif yang mampu memperbaiki sifat kimia, fisik, maupun biologi tanah serta menurunkan emisi gas rumah kaca. Bahan organik rawa sangat beragam kualitasnya dan berpotensi dijadikan sumber biochar. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan informasi tentang potensi berbagai bahan organik rawa sebagai sumber biochar. Penelitian dilaksanakan dengan mencari beberapa jenis bahan organik rawa di wilayah Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah, pada bulan Januari-April 2014. Bahan organik hasil eksplorasi dianalisis kandungan selulosa, lignin, C organik, serta N total. Setelah dilakukan analisis awal, dibuat biochar dengan cara pirolisis pada suhu 600°C dan dianalisis kandungan C, N total, SiO<sub>2</sub> dan kadar air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada 13 bahan organik rawa yang melimpah di lahan rawa dan berpotensi sebagai bahan biochar, yaitu: sekam padi (*Oryza sativa*), jerami jagung (*Zea mays*), jerami padi (*Oryza sativa*), kalakai (*Stenochlaena palustris*), karamunting (*Melastomataceae*), galam (*Melaleuca leucandra*), bambu (*Bambusa vulgaris*), bungkil sawit (*Elaeis* sp.), daun sawit, pelepah sawit, tandan sawit, tempurung kelapa (*Cocos nucifera*), dan purun tikus (*Eleocharis dulcis*). Bahan organik tersebut mempunyai kualitas yang berbeda-beda. Biochar yang mempunyai rasio C/N tertinggi adalah biochar dari galam, terendah dari jerami jagung dan padi; kandungan SiO<sub>2</sub> tertinggi dijumpai pada biochar dari sekam padi dan terendah pada biochar dari galam. Semua biochar mempunyai kadar air kurang dari 10%. Rasio C/N tergantung pada jenis biochar dan berhubungan positif dengan C/N bahan baku. Kadar air dalam biochar lebih berhubungan dengan kadar selulosa bahan dibandingkan dengan kadar lignin bahan. Kadar abu berhubungan positif dengan lignin dan selulosa bahan, sedangkan kadar SiO<sub>2</sub> berhubungan positif dengan kandungan lignin bahan.

**Kata kunci:** Bahan organik, biochar, potensi, rawa

**Abstract.** Maftu'ah E, Nursyamsi D. 2015. Potency of various organic materials from swampland as a source of biochar. Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon 1: 776-781. The utilization of swampland have several problems, among others, are the very low soil fertility and the environmental problems, especially the greenhouse gas emissions. Biochar is a charcoal that able to improve the properties of the chemical, physical and biological of the soil and reduce the greenhouse gas emissions. The organic materials of swampland are very diverse qualities and potential as a source of biochar. The purpose of this study was to obtain the information about the potential of various organic materials from swamplands as a source of biochar. The research was carried out by looking for some kinds of organic material from swampland in South Kalimantan and Central Kalimantan areas, in January-April 2014. The organic material of exploration results was analyzed for the cellulose, lignin, organic C and total N. After the initial analysis, biochar was made by means of pyrolysis at temperatures of 600°C and analyzed for the content of C, total N, SiO<sub>2</sub> and water content. The results showed that there were 13 types of the abundant organic material in swamplands and potentially used as the biochar materials, included: husk of rice (*Oryza sativa*), corn straw (*Zea mays*), rice straw (*Oryza sativa*), kalakai (*Stenochlaena palustris*), karamunting (*Melastomataceae*), galam (*Melaleuca leucandra*), bamboo (*Bambusa vulgaris*), oil cake (*Elaeis* sp.), palm leaves, palm fronds, bunches of palm, coconut shell (*Cocos nucifera*) and water chestnut (*Eleocharis dulcis*). The organic materials had different qualities. Biochar which had the highest C/N ratio was a biochar from galam, the lowest from maize and rice straw; the highest SiO<sub>2</sub> content was found in biochar from rice husk and the lowest in biochar from galam. All biochar had a water content less than 10%. The C/N ratio depend on the type of biochar and positively associated with C/N of material. The water content of biochar was more associated with the cellulose contents than the lignin content of material. The ash content was positively associated with lignin and cellulose materials, while SiO<sub>2</sub> content was positively associated with the lignin material.

**Kata kunci:** Biochar, organic material, potency, swampland

### PENDAHULUAN

Lahan rawa merupakan salah satu agroekologi yang cukup luas di Indonesia dan memiliki potensi cukup besar

untuk pengembangan pertanian masa kini dan di masa yang akan datang, tetapi pemanfaatannya belum dilakukan secara optimal. Lahan ini sebagian besar tersebar di tiga pulau yaitu Kalimantan, Sumatera, dan Papua. Lahan rawa

terbagi dalam dua jenis, yaitu lahan rawa pasang surut dan lahan rawa lebak. Widjaja-Adhi et al. (1992) melaporkan bahwa potensi lahan rawa di Indonesia diperkirakan 33.429 juta ha yang terdiri atas lahan rawa pasang surut sekitar 20.149 juta ha dan lahan rawa lebak seluas 13,28 juta ha yang tersebar luas di Sumatera, Kalimantan, dan Irian Jaya.

Lahan rawa merupakan salah satu agroekosistem lahan basah (*wetland*) yang terletak antara wilayah dengan sistem daratan (*terrestrial*) dan sistem perairan dalam (*aquatic*). Lahan rawa secara ekologi merupakan habitat tempat berbagai makhluk hidup berkembang. Kondisi rawa yang khas tersebut berpengaruh terhadap perkembangan flora secara spesifik (Mukhlis et al. 2014). Lahan rawa selain ditumbuhi oleh tumbuhan khas rawa, seperti galam, kalakai, purun tikus, dan karamunting, juga dimanfaatkan oleh berbagai tanaman non-rawa melalui pengelolaan lahan dan air.

Saat ini pemanfaatan lahan rawa untuk pertanian sudah semakin intensif dan diharapkan mampu mendukung ketahanan pangan di Indonesia. Namun, lahan rawa umumnya merupakan lahan marginal dan kurang subur sehingga diperlukan pengelolaan yang tepat. Pengelolaan lahan rawa memerlukan teknologi spesifik antara lain perbaikan kondisi tanah melalui ameliorasi. Bahan amelioran yang umum digunakan petani di lahan rawa adalah kapur, pupuk kandang, dan abu (Maftu'ah 2012). Bahan-bahan tersebut cukup efektif memperbaiki sifat tanah rawa, namun pengaruhnya hanya sementara sehingga pemberian harus dilakukan setiap tanam.

Salah satu bahan yang berpotensi untuk dijadikan bahan amelioran adalah biochar. Pemanfaatan biochar di lahan rawa sebagai amelioran belum banyak dilakukan. Biochar adalah residu pirolisis berbentuk arang yang mengandung karbon tinggi. Biochar mampu memperbaiki tanah melalui kemampuannya meningkatkan pH, meretensi air, meretensi hara, dan meningkatkan aktivitas biota dalam tanah serta mengurangi pencemaran (Laird et al. 2008). Namun, biochar tidak mampu menyediakan unsur hara secara langsung, tetapi secara tidak langsung biochar mampu mengurangi hilangnya hara melalui pelindian, sehingga efisiensi pemupukan dapat ditingkatkan.

Biochar merupakan bahan alternatif untuk perbaikan kesuburan tanah sekaligus untuk perbaikan lingkungan yang murah, berkelanjutan, dan ramah lingkungan. Biochar dapat memperbaiki sifat kimia, fisik, dan biologi tanah. Kehilangan N melalui pemupukan dapat dikurangi dengan penambahan biochar (Steiner 2007). Kualitas dari biochar sangat ditentukan oleh karakteristik bahan baku dan proses pirolisis (Amonette dan Joseph 2009). Bahan dasar yang digunakan akan mempengaruhi sifat-sifat biochar itu sendiri dan mempunyai efek yang berbeda-beda terhadap produktivitas tanah dan tanaman (Gani 2009). Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi tentang potensi berbagai bahan organik rawa sebagai sumber biochar.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan

Bahan organik yang digunakan sebagai sumber biochar berupa limbah pertanian dan gulma rawa, yaitu sekam padi

(*Oryza sativa*), jerami jagung (*Zea mays*), jerami padi (*Oryza sativa*), kalakai (*Stenochlaena palustris*), karamunting (Melastomataceae), galam (*Melaleuca leucandra*), bambu (*Bambusa vulgaris*), bungkil sawit (*Elaeis* sp.), daun sawit, pelepah sawit, tandan sawit, tempurung kelapa (*Cocos nucifera*), dan purun tikus (*Eleocharis dulcis*). Bahan kimia untuk analisis antara lain akuades, NaOH, NH<sub>3</sub>, asam borat, penunjuk Conway, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1%, HCl 72%, HF, dan SiF<sub>4</sub>. Alat yang digunakan meliputi neraca analitik, oven, botol timbang, alat pirolisis, alat destilasi, pipet tetes, pengaduk, gelas piala, corong, cawan platina, *hotplate*, dan *muffle*.

### Cara kerja

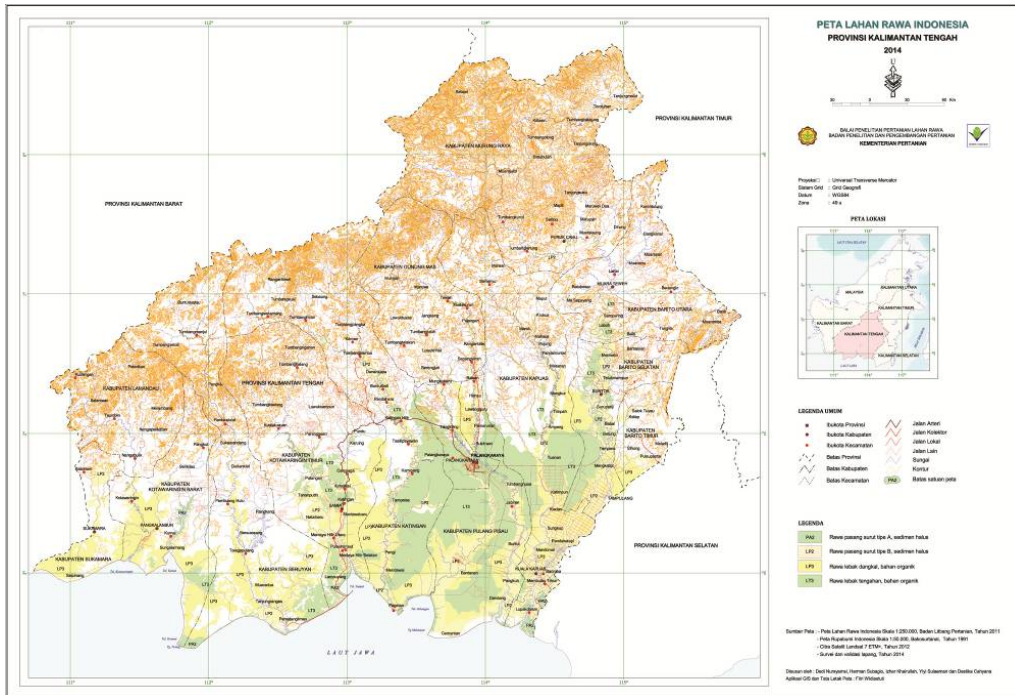
Penelitian meliputi kegiatan eksplorasi (pengumpulan) beberapa bahan organik dari tumbuhan di lahan rawa, baik tumbuhan khas rawa maupun non-rawa. Eksplorasi dan pengumpulan bahan organik rawa dilakukan pada bulan Januari-Maret 2014, sedangkan pembuatan biochar dilakukan pada bulan April 2014. Pengumpulan bahan organik dilakukan di lahan rawa Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah (Gambar 1 dan 2). Luas lahan rawa di Kalimantan Selatan sekitar 930 ribu ha yang terdiri atas 260 ribu ha lahan pasang surut dan 670 ribu ha lahan lebak. Lahan pasang surut dan lahan lebak tersebut tersebar di 13 kabupaten. Luas lahan rawa di Kalimantan Tengah sekitar 4,37 juta ha yang terdiri atas 107 ribu ha lahan pasang surut dan 4,2 juta ha lahan lebak. Lahan pasang surut dan lahan lebak tersebut tersebar di 14 kabupaten dengan proporsi yang berbeda-beda (Balittra 2014).

Bahan organik yang telah dikumpulkan kemudian dicacah kecil-kecil dengan ukuran ±2-3 cm. Pembuatan biochar dilakukan dengan teknik pirolisis pada suhu 400-500°C di laboratorium Fakultas Kehutanan, UGM. Pirolisis adalah suatu proses dekomposisi kimia bahan organik melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen atau dengan reagen lainnya, dimana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas. Setelah proses pirolisis selesai, biochar yang dihasilkan dihaluskan dan diayak sampai ukuran <2 mm.

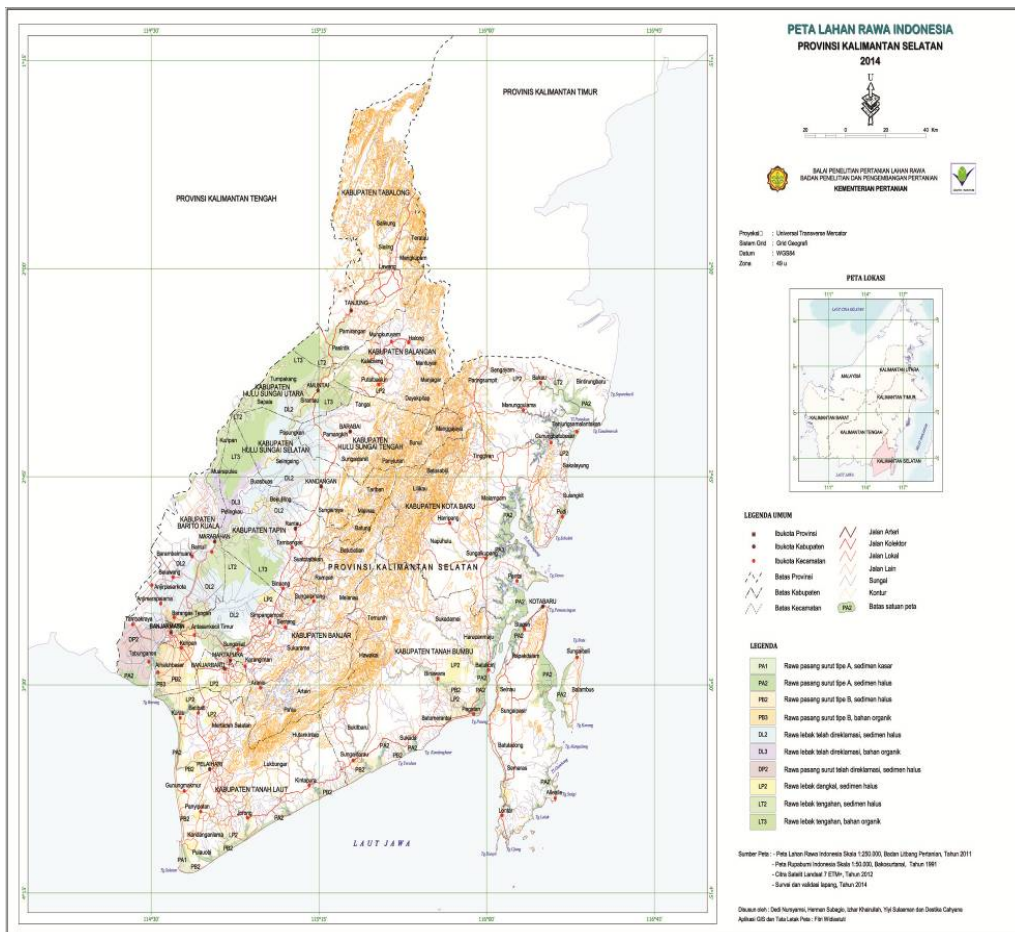
Analisis bahan organik sebagai bahan baku biochar dilakukan yaitu meliputi analisis kandungan C organik, N total, selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Setelah diperoleh biochar selanjutnya dilakukan analisis untuk sifat kimia biochar yaitu kandungan C organik, N total, kadar air, dan kadar SiO<sub>2</sub>. Analisis kandungan C organik dilakukan dengan metode pengabuan (Radjaguguk et al. 2000), N total dengan metode Kjeldahl (Bremer 1996), kadar air menurut Radjaguguk et al. (2000), kadar SiO<sub>2</sub> menurut Balittanah (2005), serta kandungan selulosa dan lignin menurut metode Chesson (Datta 1981).

### Analisis data

Data yang diperoleh dianalisis korelasi dan regresinya untuk mengetahui hubungan di antara variabel pengamatan.



Gambar 1. Lahan rawa pasang surut dan lebak di Kalimantan Selatan (Balittra 2014)



Gambar 2. Lahan rawa pasang surut dan lebak di Kalimantan Tengah (Balittra 2014)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik kimia bahan organik sebagai bahan baku biochar

Bahan organik yang memiliki tingkat kelimpahan tinggi di lahan rawa, baik dari tumbuhan/gulma rawa maupun limbah pertanian, meliputi sekam padi, jerami jagung, jerami padi, kalakai, karamunting, galam, bambu, bungkil sawit, daun sawit, pelepah sawit, tandan sawit, tempurung kelapa, dan purun tikus. Bahan organik tersebut dikarakterisasi dan dianalisis kandungan selulosa, hemiselulosa, dan rasio C/N dari masing-masing bahan biochar tersebut disajikan pada Tabel 1.

Lignin merupakan polimer *amorf* dimana struktur kimianya sangat berbeda dengan selulosa dan hemiselulosa. Kadar lignin tertinggi terdapat pada bahan baku kalakai (35,76%) dan terendah pada jerami jagung (17,03%). Kandungan lignin yang tinggi menyebabkan bahan organik sulit terdekomposisi (Pratikno 2002). Kadar selulosa tertinggi terdapat pada bahan organik dari bungkil sawit (34,45%) dan terendah pada bahan organik dari jerami jagung (17,03%), sebaliknya untuk kadar hemi-

selulosa (Tabel 1). Hemiselulosa merupakan polimer *amorf* yang berasosiasi dengan selulosa dan lignin. Sifatnya mudah mengalami depolimerisasi, hidrolisis oleh asam, bersifat basa, dan mudah larut air. Hemiselulosa memiliki ikatan dengan lignin lebih kuat daripada ikatan dengan selulosa dan mudah mengikat air. Kadar hemiselulosa berbeda pada jenis kayu berdaun jarum dan kayu berdaun lebar (Achmadi 1990).

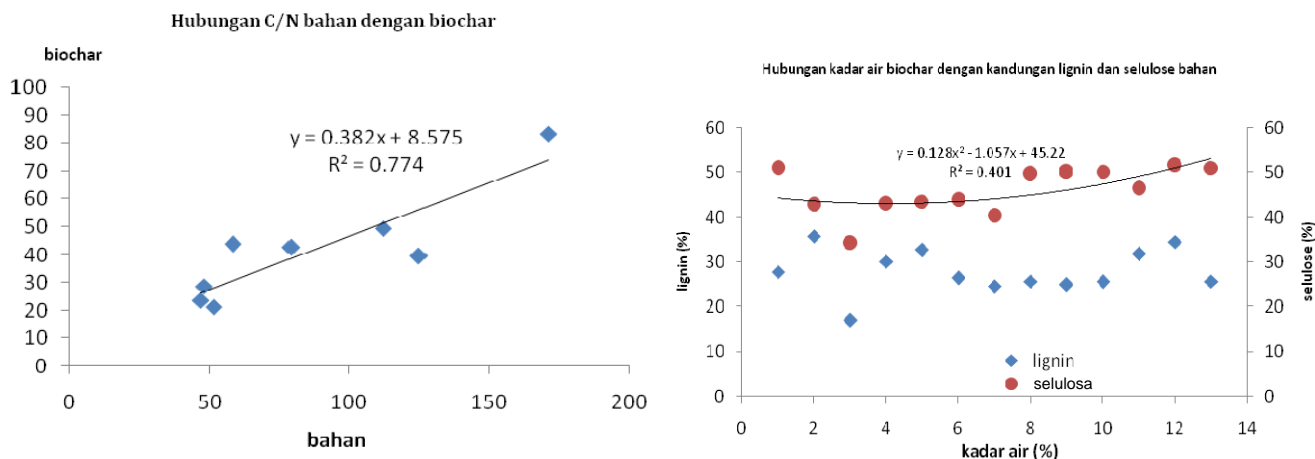
Kadar C organik pada bahan baku biochar juga berbeda, tergantung pada jenis bahan, yaitu berkisar antara 49,07-57,54%. Kadar C organik tertinggi terdapat pada bahan organik dari galam dan terendah pada sekam padi. Kadar nitrogen tertinggi terdapat pada karamunting, kalakai, dan jerami jagung yaitu mencapai 1,12%, sedangkan terendah pada galam yaitu 0,34%. Bahan organik yang digunakan sebagai sumber biochar mempunyai kualitas beragam. Berdasarkan urutan rasio C/N dari yang paling rendah sampai tinggi yaitu: karamunting < kalakai < jerami jagung < daun sawit < sekam padi < purun tikus < jerami padi < tandan sawit < bambu < pelepah sawit < tempurung kelapa < bungkil sawit < galam.

**Tabel 1.** Kandungan selulosa, hemiselulosa, dan rasio C/N beberapa bahan organik sumber biochar

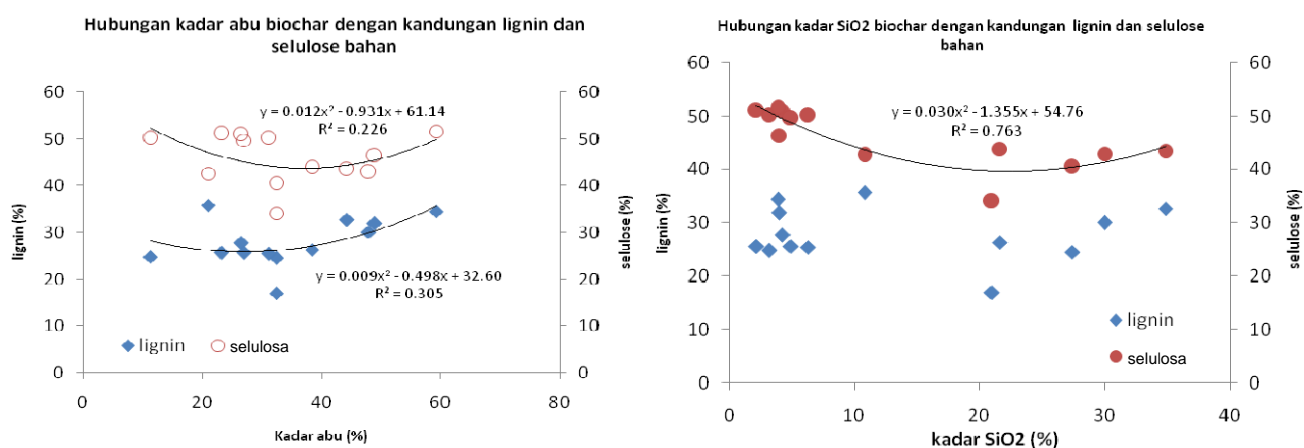
Jenis bahan	Kadar (%)					C/N
	Lignin	Selulosa	Hemiselulosa	C	N	
Karamunting ( <i>Melastomataceae</i> )	27,71	50,88	20,58	52,63	1,12	46,99
Kalakai ( <i>Stenochlaena palustris</i> )	35,76	42,67	21,15	53,89	1,12	48,12
Jerami jagung ( <i>Zea mays</i> )	17,03	34,06	37,63	54,85	1,12	48,98
Daun sawit ( <i>Elaeis</i> sp.)	30,08	42,93	26,33	50,47	0,98	51,50
Sekam padi ( <i>Oryza sativa</i> )	32,69	43,46	23,16	49,07	0,84	58,42
Purun tikus ( <i>Eleocharis dulcis</i> )	26,34	43,82	19,17	50,68	0,84	60,34
Jerami padi ( <i>Oryza sativa</i> )	24,49	40,43	30,72	51,18	0,84	60,93
Tandan sawit ( <i>Elaeis</i> sp.)	25,60	49,63	20,69	55,49	0,70	79,27
Bambu ( <i>Bambusa vulgaris</i> )	24,81	50,11	24,57	56,49	0,50	112,08
Pelepah sawit ( <i>Elaeis</i> sp.)	25,45	50,14	24,39	55,96	0,45	124,91
Tempurung kelapa ( <i>Cocos nucifera</i> )	31,87	46,36	19,65	55,52	0,42	132,19
Bungkil sawit ( <i>Elaeis</i> sp.)	34,45	51,56	14,04	50,57	0,36	138,92
Galam ( <i>Melaleuca leucandra</i> )	25,61	51,03	23,32	57,54	0,34	171,24

**Tabel 2.** Karakteristik biochar yang digunakan dalam penelitian

Jenis bahan	C organik	N total	C/N	Kadar abu	SiO <sub>2</sub>	Kadar air
	%	%			%	
Karamunting ( <i>Melastomataceae</i> )	42,41	1,79	23,69	26,57	4,28	6,98
Kalakai ( <i>Stenochlaena palustris</i> )	45,89	1,59	28,86	21,03	10,81	8,78
Jerami jagung ( <i>Zea mays</i> )	20,75	1,19	17,46	32,43	20,97	6,91
Daun sawit ( <i>Elaeis</i> sp.)	30,12	1,41	21,36	47,92	29,97	1,10
Sekam padi ( <i>Oryza sativa</i> )	32,06	0,73	43,92	44,35	34,83	5,10
Purun tikus ( <i>Eleocharis dulcis</i> )	35,64	0,44	81,00	38,41	21,62	4,75
Jerami padi ( <i>Oryza sativa</i> )	36,49	2,09	17,46	32,43	27,38	6,88
Tandan sawit ( <i>Elaeis</i> sp.)	42,33	0,99	42,76	27,09	4,90	7,19
Bambu ( <i>Bambusa vulgaris</i> )	51,52	1,04	49,54	11,26	3,21	5,81
Pelepah sawit ( <i>Elaeis</i> sp.)	40,04	1,01	39,64	31,17	6,30	9,19
Tempurung kelapa ( <i>Cocos nucifera</i> )	29,69	1,28	23,20	48,96	4,04	5,87
Bungkil sawit ( <i>Elaeis</i> sp.)	23,73	0,87	27,28	59,32	3,90	3,49
Galam ( <i>Melaleuca leucandra</i> )	45,07	0,54	83,46	23,15	2,13	5,56



Gambar 3. Hubungan rasio C/N bahan baku dengan biochar, serta lignin dan selulosa bahan dengan kadar air biochar



Gambar 4. Hubungan kadar abu dan SiO<sub>2</sub> biochar dengan kadar lignin dan selulosa bahan biochar

### Karakteristik biochar

Biochar merupakan substansi arang kayu yang berpori (*porous*), 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.

Semua biochar yang digunakan mempunyai kadar air di bawah 10%. Rasio C/N tergantung pada jenis biochar dan berhubungan positif dengan rasio C/N bahan (Gambar 3). Semakin tinggi rasio C/N bahan, semakin tinggi nilai C/N biochar yang dihasilkan. Kadar air biochar yang dihasilkan juga beragam tergantung pada jenis biochar. Kadar air biochar lebih berhubungan dengan kadar selulosa dibandingkan dengan kadar lignin (Gambar 2).

Kadar abu biochar juga beragam tergantung pada jenis biochar. Abu merupakan bahan yang tersisa apabila biomassa dipanaskan hingga beratnya konstan. Salah satu unsur utama yang terkandung dalam abu adalah silika dan pengaruhnya kurang baik terhadap nilai kalor yang dihasilkan. Kadar abu berhubungan positif dengan

kandungan lignin bahan (Gambar 4). Kadar SiO<sub>2</sub> berhubungan positif dengan kandungan lignin dan membentuk hubungan kuadrat sesuai dengan persamaan  $Y = 0,030x^2 - 1,355x + 54,76$  ( $R^2=0,763$ ) (Gambar 4). Komposisi fraksi abu biochar sebagian besar tergantung pada kandungan mineral dalam bahan baku karena sebagian besar unsur-unsur anorganik tidak menguap pada suhu pirolisis. Bahan baku dan proses pirolisis menentukan jumlah dan distribusi bahan mineral pada biochar (Amonette dan Joseph 2009). Bahan yang berasal dari kayu umumnya memiliki kadar abu rendah (<1% berat), sedangkan rumput, jerami, dan biji-bijian (sekam) memiliki kandungan silika yang tinggi mencapai 24% (Raveendran et al. 1995). Sebagian besar kandungan mineral dalam bahan baku tersebut masih ada dalam biochar dan sebagian lagi hilang (C, H, dan O) selama pirolisis. Biochar dari pupuk organik dan limbah biasanya memiliki kandungan abu yang sangat tinggi. Biochar pukan (pupuk kandang) ayam dapat memiliki kandungan 45% abu dari bahan baku (Koutcheiko et al. 2007), sedangkan biochar tulang dapat mengandung mineral mencapai 84% dari bahan baku (Purevsuren et al. 2004).

Karakteristik biochar selain ditentukan oleh bahan bakunya, juga ditentukan oleh proses pirolisis. Suhu, tekanan parsial O<sub>2</sub>, uap, dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) mengontrol jumlah abu mineral dalam biochar (Bridgwater dan Boocock 2006). Selama degradasi termal, ion yang sangat *mobile* (K dan Cl) akan mulai menguap pada suhu yang relatif rendah (Yu et al. 2005). Kalsium (Ca) terutama terletak di dinding sel dan terikat dengan asam organik (Marschner 1995). Ion Ca dan Si dilepaskan selama degradasi pada suhu yang lebih tinggi dari K dan Cl (Bourke et al. 2007). Magnesium (Mg) baik ionik maupun kovalen terikat dengan molekul organik dan hanya menguap pada temperatur tinggi. Fosfor (P) dan sulfur (S) berhubungan dengan senyawa organik kompleks di dalam sel dan relatif stabil pada suhu rendah. Kadar nitrogen dikaitkan dengan sejumlah molekul organik yang berbeda dan dapat dilepaskan pada suhu relatif rendah (Schnitzer et al. 2007).

Karakteristik biochar tergantung pada kualitas bahan organik awal, terutama kandungan lignin dan rasio C/N bahan. Biochar yang mempunyai rasio C/N tertinggi adalah biochar dari galam, terendah dari jerami jagung dan padi; kandungan SiO<sub>2</sub> tertinggi dijumpai pada biochar dari sekam padi dan terendah pada biochar dari galam. Semua biochar mempunyai kadar air kurang dari 10%. Rasio C/N tergantung pada jenis biochar dan berhubungan positif dengan C/N bahan baku. Kadar air biochar lebih berhubungan dengan kadar selulosa bahan dibandingkan dengan kadar lignin bahan. Sementara itu, kadar abu berhubungan positif dengan kadar lignin dan selulosa bahan, sedangkan kadar SiO<sub>2</sub> biochar berhubungan positif dengan kadar lignin bahan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Achmadi S. 1990. Kimia Kayu. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Amonette JE, Joseph S. 2009. Characteristics of biochar microchemical properties. In: Lehman J, Joseph S (eds). Biochar for Environmental Management Science and Technology. Earthscan, London.
- Balittanah. 2005. Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk. Balai Penelitian Tanah, Bogor.
- Balittra. 2014. Laporan hasil penelitian. Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa, Banjarbaru.
- Bourke J, Manley-Harris M, Fushimi C et al. 2007. Do all carbonized charcoals have the same chemical structure? 2. A model of the chemical structure of carbonized charcoal. *Ind Eng Chem Res* 46 (18): 5954-5967.
- Bremner JM. 1996. Total nitrogen. In: Black CA, Evans DD, White JL, Ensminger LE, Clark FE (eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, Madison.
- Bridgwater A, Boocock DGB. 2006. *Science in Thermal and Chemical Biomass Conversion*. CPL Press, Newbury.
- Datta R. 1981. Acidogenic fermentation of lignocelluloses-acid yield and conversion of components. *Biotechnol Bioeng* 23(9): 2167-2170.
- Gani A. 2009. Arang hayati biochar sebagai komponen perbaikan produktivitas lahan. *Iptek Tanaman Pangan* 4(1): 33-48.
- Koutcheiko S, Monreal CM, Kodama H et al. 2007. Preparation and characterization of activated carbon derived from the thermochemical conversion of chicken manure. *Bioresour Technol* 98 (13): 2459-2464.
- Laird DA, Chappell MA, Marteus DA et al. 2008. Distinguishing black carbon from biogenic humic substances in soil clay fraction. *Geoderma* 143: 115-122.
- Maftu'ah E. 2012. Ameliorasi Lahan Gambut Terdegradasi dan Pengaruhnya terhadap Produksi Tanaman Jagung Manis. [Disertasi]. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Mukhlis, Noor M, Alwi M et al. 2014. Biodiversitas Rawa: Eksplorasi, Penelitian dan Pelestariannya. IAARD Press, Jakarta.
- Pratikno H. 2002. Studi Pemanfaatan Berbagai Biomasa Flora untuk Peningkatan Ketersediaan P dan Bahan Organik Tanah pada Tanah Berkapur di DAS Brantas Hulu Malang Selatan. [Tesis]. Universitas Brawijaya, Malang.
- Purevsuren B, Avida B, Gerelmaa T et al. 2004. The characterization of tar from the pyrolysis of animal bones. *Fuel* 83: 799-805.
- Radjaguguk B, Hastuti S, Kurnain A, Sajarwan A. 2000. Panduan Analisis Laboratorium untuk Gambut. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Raveendran K, Ganesh A, Khilart KC. 1995. Influence of mineral matter on biomass pyrolysis characteristics. *Fuel* 74: 1812-1822.
- Schnitzer MI, Monreal CM, Jandl G, Leinweber P. 2007. The conversion of chicken manure to bio-oil by fast pyrolysis II. Analysis of chicken manure, biooils, and char by curie-point pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry (Cp Py-GC/MS). *J Environ Sci Health B* 42: 79-95.
- Steiner C, Teixeira WG, Lehmann J et al. 2007. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *PL Soil* 291: 275-290.
- Widjaja-Adhi IPG, Nugroho K, Ardi DS, Karama AS. 1992. Sumberdaya lahan rawa: Potensi keterbatasan dan pemanfaatan. Dalam: Partohardjono S, Syam M (eds). *Pengembangan Terpadu Pertanian Lahan Rawa Pasang Surut dan Lebak*. Risalah Pertanian Nasional Pengembangan Pertanian Lahan Pasang Surut dan Rawa. Puslibangtan-SWAMPS I, Bogor.
- Yu C, Tang Y, Fang M et al. 2005. Experimental study on alkali emission during rice straw pyrolysis. *J Zhejiang Univ Eng Sci* 39: 1435-1444.