Karakteristik Biochar pada Beberapa Metode Pembuatan dan Bahan Baku

(*Biochar Characteristics Caused by Various Production Methods and Feedstock*)

Dhea Pratiwi¹, Syakur¹, dan Darusman^{1*}

¹Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala

corresponding author: darusman@unsyiah.ac.id

Abstrak. *Biochar* merupakan arang hayati berpori (*porous*) yang berasal dari limbah organik (biomasa pertanian) atau sering disebut juga arang aktif yang melalui proses pembakaran tidak sempurna atau suplai oksigen terbatas (*pirolisis*). Pembuatan *biochar* menggunakan metode Kon-Tiki, *soil pit*, dan drum yang menggunakan bahan baku bambu petung, kayu pulai, dan tempurung kelapa. Beragamnya sumber bahan baku dan teknik pembuatan *biochar* dapat mempengaruhi hasil pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Sehingga, perbedaan metode dan bahan baku sebagai pembuatan *biochar* penting untuk menentukan kualitas *biochar*. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan jenis bahan baku (*feedstock*) yang mempunyai karakteristik yang baik dan mendapatkan jenis metode pembuatan *biochar* yang baik. Penelitian ini dilaksanakan di kebun percobaan dan laboratorium fisika tanah dan lingkungan Fakultas Pertanian Universitas Syiah Kuala sejak bulan Juni sampai Agustus 2019. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) Non Faktorial dengan 9 perlakuan dan diulang sebanyak 3 kali sehingga didapatkan 27 satuan unit percobaan. Karakteristik *biochar* yang diamati terdiri dari kadar air, zat menguap, kadar abu dan karbon terikat (*fixed carbon*). Jenis dan metode pembuatan *biochar* berpengaruh terhadap karakteristik *biochar*. Bahan baku (*feedstock*) *biochar* yang mempunyai karakteristik yang baik terdapat pada bambu petung, sedangkan metode pembuatan *biochar* yang terbaik terdapat pada metode Kon-Tiki.

Kata kunci: *Biochar*, bahan baku, metode pembuatan, karakteristik *biochar*

Abstract. *Biochar* is porous biological products originating from organic waste (agricultural biomass) or often called activated charcoal, results from incomplete combustion process or limited oxygen supply (*pyrolysis*). *Biochar* produced using the chamber of Kon-Tiki, soil pit, and drum with the feedstocks of petung bamboo, pulai wood, and coconut shell. Various sources of feedstock and techniques for making *biochar* might influence the yield of plant growth and productivity. Thus, differences in methods and feedstock for making *biochar* are important to determine the quality of *biochar*. This study aims to obtain the type of feedstock that has good characteristics and to obtain a good type of *biochar* production method. This research was conducted in the experimental research station of the Faculty of Agriculture, Universitas Syiah Kuala from June to August 2019. This study used a non-factorial randomized block design (RBD) with 9 treatments and repeated 3 times so that 27 experimental units were obtained. The characteristics of the observed physical properties of *biochar* consist of water content, volatile matter, ash content and fixed carbon. The types and methods of making *biochar* affect the characteristics of *biochar*. The feedstock of *biochar* which has good characteristics is found in petung bamboo, while the best method of making *biochar* is found in the Kon-Tiki method.

Keywords: *Biochar*, feedstock, production methods, characteristics of *biochar*

PENDAHULUAN

Iklim berhubungan erat dengan cuaca yang sering berubah, perubahan cuaca dan pemanasan global dapat menurunkan produksi pertanian antara 5-20%. Iklim yang sering berubah secara umum terjadi disebabkan adanya peningkatan suhu yang signifikan (Ratnaningayu, 2009). Suhu yang terus meningkat disebabkan karena adanya kecepatan suhu yang tidak mudah diperkirakan. Upaya mitigasi yang dilakukan untuk menghadapi perubahan iklim yaitu salah satunya meningkatkan sequestrasi (proses penangkapan dan penyimpanan) karbon diantaranya dalam bentuk *biochar* (Lehmann *et al.*, 2006).

Biochar merupakan arang aktif berpori (porous) yang melalui proses pembakaran secara pirolisis (sedikit oksigen/keadaan oksigen terbatas (Anischan, 2009). Potensi bahan baku *biochar* tergolong melimpah yaitu berupa limbah sisa pertanian atau biomasa, terutama biomasa yang tidak mudah terdekomposisi dikarenakan rasio C/N yang tinggi. Di Indonesia potensi penggunaan *biochar* cukup besar, dikarenakan bahan baku seperti limbah kayu, tempurung kelapa, cangkang sawit, bambu, tongkol jagung cukup tersedia (Tahir *et al.*, 2008). Pada awalnya *biochar* dibuat dengan metode pirolisis lambat dalam keadaan oksigen terbatas dengan laju pemanasan dan suhu puncak yang relatif rendah (Sohi *et al.*, 2009).

Pirolisis merupakan termolisis yang fungsinya yaitu melepaskan zat terbang (*volatile matter*) yang terkandung pada biomasa. Pada dasarnya zat terbang yang terdapat pada biomasa cukup tinggi. Bahan baku yang dikonversi secara pirolisis adalah bahan baku yang memiliki selulosa tinggi (Zaror & Pyle, 1982). Hasil dari pembakaran *biochar* dapat langsung digunakan sebagai amelioran tanah. *Biochar* pada umumnya memiliki pH basa, C-organik dan banyak luas permukaan (Lehman *et al.*, 2011).

Laju dekomposisi atau disebut juga dengan bahan organik yang melapuk tergolong tinggi, sehingga pembenah tanah organik alami yang diaplikasikan lebih bersifat sementara (*temporary*). *Biochar* digunakan sebagai bahan pembenah tanah alternatif. *Biochar* mampu lama bertahan di dalam tanah dan memiliki efek yang relatif lama, serta relatif resisten terhadap serangan mikroorganisme, sehingga proses dekomposisi berjalan lambat (Tang *et al.*, 2013). *Biochar* yang berfungsi dalam bidang pertanian sangat bergantung pada karakteristik dari *biochar* itu sendiri. *Biochar* memiliki beberapa karakteristik antara lain seperti pH, kemampuan mengikat air, C-total, kapasitas tukar kation (KTK). Bahan baku dan proses produksi *biochar* (jenis alat pembakaran, suhu dan lama pembakaran) yang berbeda dapat menghasilkan sifat fisik dan kimia *biochar* yang berbeda pula. Sehingga, dalam menentukan kualitas *biochar* dapat menggunakan perbedaan metode dan bahan baku sebagai pembuatan *biochar*.

Beragamnya sumber bahan baku dan teknik pembuatan *biochar* dapat mempengaruhi hasil pertumbuhan dan produktivitas tanaman (Lehman dan Joseph, 2010). Berbagai metode pembuatan *biochar* telah tersedia mulai dari menggunakan alat/metode tradisional sampai yang moderen. Penelitian ini mencoba untuk mendapatkan bahan baku yang mempunyai karakteristik yang baik dan mengetahui metode yang lebih efektif sebagai pembakaran *biochar* dari bahan baku yang bertekstur keras.

METODE PENELITIAN

Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) pola non faktorial. Percobaan dilakukan sebanyak 9 perlakuan dan diulang sebanyak 3 kali, sehingga akan menghasilkan 27 satuan percobaan.

Pelaksanaan Percobaan

Penelitian lapangan dilakukan di kebun percobaan Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh. Penelitian dilaksanakan sejak Juni 2019 sampai Februari 2020. Analisis dilaksanakan di Laboratorium Fisika Tanah dan Laboratorium Penelitian Tanah dan Tanaman dimulai dari Juni hingga Agustus 2019. Penelitian terdiri dari beberapa tahap yaitu persiapan bahan dan alat pembuatan *biochar*, proses pembuatan *biochar*, teknis pengambilan sampel, dan analisis karakteristik *biochar*.

Pengamatan dan Analisis

Parameter pengamatan yang dianalisis yaitu kadar air, zat menguap, kadar abu, dan karbon terikat (*fixed carbon*) *biochar*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar Air *Biochar*

Uji sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan dari jenis dan metode pembuatan berpengaruh sangat nyata terhadap kadar air *biochar*. Rata-rata kadar air *biochar* akibat pengaruh jenis dan metode pembuatan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rata-rata Kadar Air *Biochar* Akibat Pengaruh Jenis dan Metode Pembuatan

Perlakuan	Kadar Air
	%
P1 (Bambu Petung+Metode Kon-Tiki)	16,67 b
P2 (Bambu Petung+Metode <i>Soil pit</i>)	26,45 c
P3 (Bambu Petung+Metode Drum)	7,10 a
P4 (Kayu Pulai+Metode Kon-Tiki)	10,78 a
P5 (Kayu Pulai+Metode <i>Soil pit</i>)	30,00 c
P6 (Kayu Pulai+Metode Drum)	7,34 a
P7 (Tempurung Kelapa+Metode Kon-Tiki)	11,11 a
P8 (Tempurung Kelapa+Metode <i>Soil pit</i>)	12,59 ab
P9 (Tempurung Kelapa+Metode Drum)	9,63 a
BNJ _{0,05}	5,68

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang tidak sama berbeda nyata pada uji BNJ_{0,05}

Rata-rata kadar air *biochar* akibat pengaruh jenis dan metode pembuatan setelah diuji dengan BNJ_{0,05} disajikan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa jenis dan metode pembuatan berbeda sangat nyata terhadap kadar air *biochar*. Pada semua perlakuan *biochar* dapat dilihat bahwa jenis *biochar* bambu petung dengan beberapa metode pembuatan yaitu Kon-Tiki, *soil pit*, dan drum memiliki nilai rata-rata yang rendah dibandingkan dengan jenis dan metode pembuatan *biochar* lainnya, juga didapatkan nilai terendah pada perlakuan P3 (bambu petung dengan metode drum). Hal ini terjadi karena pada saat proses pembuatan *biochar* memerlukan waktu yang lama yaitu 65 menit dan bahan baku yang digunakan juga berbahan keras yang terdapat kandungan lignin. Menurut Hartanto *et al.* (2010), nilai kadar air bahan baku *biochar* dipengaruhi oleh terjadinya kontak langsung antara *biochar* yang memiliki temperatur yang tinggi dengan udara sekitar, sehingga *biochar* banyak menyerap uap air. Kadar air *biochar* yang tinggi akan bermasalah pada penggunaannya sebagai energi. Iskandar dan Rofiatin (2017), kadar air *biochar* yang rendah dapat mempercepat penyerapan air dan unsur hara.

Zat Menguap *Biochar*

Uji sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan dari jenis dan metode pembuatan berpengaruh sangat nyata terhadap zat menguap *biochar*. Rata-rata zat menguap *biochar* akibat pengaruh jenis dan metode pembuatan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rata-rata Zat Menguap *Biochar* Akibat Pengaruh Jenis dan Metode Pembuatan

Perlakuan	Zat Menguap
	%
P1 (Bambu Petung+Metode Kon-Tiki)	22,95 a
P2 (Bambu Petung+Metode <i>Soil pit</i>)	18,53 a
P3 (Bambu Petung+Metode Drum)	20,57 a
P4 (Kayu Pulai+Metode Kon-Tiki)	25,97 bc
P5 (Kayu Pulai+Metode <i>Soil pit</i>)	19,56 a
P6 (Kayu Pulai+Metode Drum)	21,87 a
P7 (Tempurung Kelapa+Metode Kon-Tiki)	29,29 c
P8 (Tempurung Kelapa+Metode <i>Soil pit</i>)	23,38 ab
P9 (Tempurung Kelapa+Metode Drum)	31,01 c
BNJ _{0,05}	5,24

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang tidak sama berbeda nyata pada uji BNJ_{0,05}

Rata-rata zat menguap *biochar* akibat pengaruh jenis dan metode pembuatan setelah diuji dengan BNJ_{0,05} disajikan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa jenis dan metode pembuatan berbeda sangat nyata terhadap zat menguap *biochar*. Pada semua perlakuan *biochar* dapat dilihat bahwa jenis *biochar* bambu petung dengan beberapa metode pembuatan yaitu Kon-Tiki, *soil pit*, dan drum memiliki nilai rata-rata yang rendah dibandingkan dengan jenis dan metode pembuatan *biochar* lainnya, juga didapatkan nilai terendah pada perlakuan P2 (bambu petung dengan metode *soil pit*). Hal ini tergantung pada proses pembakaran *biochar* itu sendiri, mulai dari jenis bahan baku dan tipe alat pembakaran yang digunakan juga waktu dan suhu pembakarannya. Zat menguap juga akan berdampak pada total karbon *biochar*. Menurut pernyataan Pari (1995), menyebutkan bahwa tingginya kadar abu dan zat menguap juga lamanya waktu reaksi kadar zat menguap (*volatile matter*) dapat menurunkan kadar karbon yang terkandung dalam arang aktif, sehingga jumlah karbon yang dihasilkan semakin sedikit.

Kadar Abu *Biochar*

Uji sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan dari jenis dan metode pembuatan berpengaruh sangat nyata terhadap kadar abu *biochar*. Rata-rata kadar abu *biochar* akibat pengaruh jenis dan metode pembuatan disajikan pada Tabel 3.

Rata-rata kadar abu *biochar* akibat pengaruh jenis dan metode pembuatan setelah diuji dengan BNJ_{0,05} disajikan pada Tabel 3 menunjukkan bahwa jenis dan metode pembuatan berbeda sangat nyata terhadap kadar abu *biochar*. Pada semua perlakuan *biochar* dapat dilihat bahwa jenis *biochar* kayu pulai dengan beberapa metode pembuatan yaitu Kon-Tiki, *soil pit*, dan drum memiliki nilai rata-rata yang rendah dibandingkan dengan jenis dan metode pembuatan *biochar* lainnya, juga didapatkan nilai terendah pada perlakuan P4 (kayu pulai dengan metode Kon-Tiki). Hal ini diduga bahwa jenis bahan baku kayu pulai pada dasarnya berbau keras dan memiliki kandungan lignin sekitar 18-33%, memiliki ukuran pori meso dengan diameter rata-rata 26,87 mikrometer, juga waktu proses pembakaran yang tidak terlalu lama yaitu 65 menit dengan suhu 764 °C, sehingga tidak mudah menjadi abu. Apabila kadar abu dalam *biochar* tersebut tinggi maka akan berdampak buruk pada kualitas/mutu *biochar* sendiri. Hal ini sesuai dengan pendapat Schroder (2006), kadar abu pada *biochar* dapat mempengaruhi mutu *biochar*, karena dapat menyebabkan terjadinya penyumbatan pori-pori pada *biochar* sehingga luas permukaannya akan menjadi sedikit.

Mahanim *et al.* (2011), abu yang terdapat pada *biochar* merupakan oksida logam yang terdiri dari mineral yang tidak dapat menguap juga memiliki sifat sulit terbakar. Abu terdiri dari sebagian besar mineral seperti silika, alumina, besi, magnesium dan kalsium yang tidak diinginkan karena merupakan zat penghambat. Karbon paling aktif terdapat pada kandungan abu paling rendah.

Tabel 3. Rata-rata Kadar Abu *Biochar* Akibat Pengaruh Jenis dan Metode Pembuatan

Perlakuan	Kadar Abu
	%
P1 (Bambu Petung+Metode Kon-Tiki)	7,04 bc
P2 (Bambu Petung+Metode <i>Soil pit</i>)	8,58 c
P3 (Bambu Petung+Metode Drum)	8,08 c
P4 (Kayu Pulai+Metode Kon-Tiki)	1,80 a
P5 (Kayu Pulai+Metode <i>Soil pit</i>)	4,82 b
P6 (Kayu Pulai+Metode Drum)	5,74 b
P7 (Tempurung Kelapa+Metode Kon-Tiki)	5,85 b
P8 (Tempurung Kelapa+Metode <i>Soil pit</i>)	5,40 b
P9 (Tempurung Kelapa+Metode Drum)	8,04 c
BNJ _{0,05}	2,38

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang tidak sama berbeda nyata pada uji BNJ_{0,05}

Karbon Terikat (*Fixed Carbon*) *Biochar*

Uji sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan dari jenis dan metode pembuatan berpengaruh sangat nyata terhadap karbon terikat *biochar*. Rata-rata karbon terikat *biochar* akibat pengaruh jenis dan metode pembuatan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rata-rata Karbon Terikat (*Fixed Carbon*) *Biochar* Akibat Pengaruh Jenis dan Metode Pembuatan

Perlakuan	<i>Fixed</i> Karbon
	%
P1 (Bambu Petung+Metode Kon-Tiki)	15,90 b
P2 (Bambu Petung+Metode <i>Soil pit</i>)	9,95 a
P3 (Bambu Petung+Metode Drum)	12,49 a
P4 (Kayu Pulai+Metode Kon-Tiki)	24,17 d
P5 (Kayu Pulai+Metode <i>Soil pit</i>)	14,75 ab
P6 (Kayu Pulai+Metode Drum)	16,12 b
P7 (Tempurung Kelapa+Metode Kon-Tiki)	23,44 cd
P8 (Tempurung Kelapa+Metode <i>Soil pit</i>)	17,98 bc
P9 (Tempurung Kelapa+Metode Drum)	22,98 c
BNJ _{0,05}	5,66

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang tidak sama berbeda nyata pada uji BNJ_{0,05}

Rata-rata karbon terikat (*fixed carbon*) *biochar* akibat pengaruh jenis dan metode pembuatan setelah diuji dengan BNJ_{0,05} disajikan pada Tabel 4 menunjukkan bahwa jenis dan metode pembuatan berbeda sangat nyata terhadap karbon terikat *biochar*. Pada semua perlakuan *biochar* dapat dilihat bahwa jenis *biochar* kayu pulai dengan beberapa metode

pembuatan yaitu Kon-Tiki, *soil pit*, dan drum memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis dan metode pembuatan *biochar* lainnya, juga didapatkan nilai tertinggi pada perlakuan P4 (kayu pulai dengan metode Kon-Tiki). Hal ini diduga bahwa kayu pulai memiliki kandungan lignin dan lama pembakarannya hanya memerlukan waktu rata-rata 65 menit, juga rendahnya kadar zat menguap. Hal ini juga terjadi karena adanya keterkaitan antara bahan baku, temperatur, dan waktu proses pembakaran yang berpengaruh terhadap nilai karbon terikat. Waktu proses berpengaruh pada nilai karbon terikat, apabila semakin lama waktu proses nilainya akan menjadi lebih kecil. Nilai karbon terikat berbanding terbalik dengan nilai kadar air dan kadar abu yang besar.

Ogawa (2006), kualitas *biochar* sangat bergantung pada sifat kimia dan fisik *biochar* yang ditentukan oleh jenis bahan baku lunak dan keras, serta metode karbonisasi (alat pembakaran, temperatur), dan bentuk *biochar* (padat, serbuk, karbon aktif). Kadar karbon terikat tergantung dari kadar air, kadar abu, dan kadar zat volatil dari suatu bahan. Saktiawan (2000), apabila kadar air, kadar abu dan kadar zat menguap semakin rendah maka kadar karbon terikat semakin tinggi dan nilai kalor juga semakin tinggi (Saktiawan, 2000).

Kandungan karbon yang tinggi dari *biochar* dapat memaksimalkan penyimpanan jumlah karbon dan dapat digunakan sebagai sumber energi atau untuk adsorpsi polutan tanah. *Biochar* sebagian besar terdiri dari fraksi karbon yang tahan lama telah dibuktikan sangat stabil, dengan waktu paruh lebih dari 1000 tahun di tanah (Lehmann *et al.*, 2006). *Biochar* dapat menangkap karbon yang ada di udara, kemudian mentransfernya ke penyimpanan jangka panjang di tanah, dengan kata lain disebut dengan *Capture Storage Carbon* (CSC). Oleh karena itu, *Biochar* dapat membantu dalam tantangan global mitigasi karbon dioksida (CO₂) (Roberts *et al.*, 2010).

KESIMPULAN DAN SARAN

Jenis dan metode pembuatan berpengaruh terhadap karakteristik *biochar* yaitu kadar air *biochar*, zat menguap, kadar abu, dan karbon terikat (*fixed carbon*). Bahan baku (*feedstock*) *biochar* yang mempunyai karakteristik yang baik terdapat pada bambu petung, sedangkan metode pembuatan *biochar* yang terbaik terdapat pada metode Kon-Tiki.

DAFTAR PUSTAKA

- Anischan. 2009. Arang Hayati "*Biochar*" sebagai Komponen Perbaikan Produktivitas Lahan. Iptek Tanaman Pangan Vol. 4, No. 1.
- Hartanto, F.J., Alim dan Fathul. 2010. Optimasi Kondisi Operasi Pirolisis Sekam Padi Untuk Menghasilkan Bahan Bakar Briket Bioarang Sebagai Bahan Bakar Alternatif. Jurusan Teknik Kimia. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Iskandar, T. dan U. Rofiatin. 2017. Karakteristik *Biochar* Berdasarkan Jenis Biomasa dan Parameter Proses Pyrolysis. Jurnal Teknik Kimia. 12: 29-33.
- Lehmann, J., J. Gaunt dan M. Rondon. 2006. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems-a review. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 11: 403-427.
- Lehmann, J. dan S. Joseph. 2010. Biochar for Environmental Management. 2nd Ed. Earthscan Pub.Co. London, UK. Hal: 416.

- Lehmann, J., M.C. Rillig, J. Thies, C.A. Masiello, W.C. Hockaday dan D. Crowley. 2011. *Biochar* effects on soil biota: A review. *Soil Biol. Biochem.* 43:1812–1836. doi:10.1016/j.soilbio. Diakses tanggal 10 Januari 2021.
- Mahanim, S., I. W. Asma, J. Rafidah, E. Puad, dan H. Shaharuddin, 2011, Production of activated carbon from industrial bamboo waste, *Journal of Tropical Forest Science*, 23. Hal: 417-424.
- Ogawa, M. 2006. Carbon sequestration by carbonization of biomass and forestation: three case studies. Hal: 133-146.
- Pari, G. 1995. Pembuatan dan Karakteristik Arang Aktif dari kayu dan Batubara. Tesis Program Pascasarjana Magister Sains Kimia. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Ratnaningayu. 2009. Dari timor ke krui: Bagaimana Petani dan Nelayan Menghadapi Dampak Perubahan Iklim. Pelangi Indonesia, Jakarta.
- Roberts K.G., B.A Gloy, S. Joseph, N.R. Scott dan J. Lehmann. 2010. Life cycle assessment of *biochar* systems: estimating the energetic, economic, and climate change potential. *Environmental Science and Technology*. 44: 827–833.
- Saktiawan, I. 2000. Identifikasi Sifat Fisik dan Kimia Briket Arang Dari Sabut Kelapa (*Cocos nucifera* L.). Skripsi. Jurusan Teknologi Hasil Hutan. IPB.
- Schroder, E., K. Thomauske, C. Weber, A. Hornung dan V. Tumiatti. 2006. Experiment on The Generation of Activated Carbon From Biomass. Institute For Nuclear and Energy Technologies Forschungs Karlsruhe, Germany. Hal: 106-111.
- Sohi, S.P., C. Lopez, E. Krull dan R. Bol. 2009. Pengaruh Konsentrasi Asam Sulfat Terhadap Sifat Fisik dan Kimia *Biochar* dari Sludge Biogas pada Proses Aktivasi. Universitas Brawijaya, Malang.
- Tahir, S., S. Gul, S.A. Ghorri, M. Sohail, S. Batool, N. Jamil dan M.R. Butt. 2008. *Biochar* influences growth performance and heavy metal accumulation in spinach under wastewater irrigation. *Cogent Food and Agriculture*. 4: 1–12.
- Tang, J., W. Zhu, R. Kookana dan A. Katayama. 2013. Characteristics of biochar and its application in remediation of contaminated soil. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 116: 653-659.
- Zaror, C.A. dan P.D. Pyle. 1982. The Pyrolysis of Biomass: A General Review, *Sadhana Academy Proceedings in Engineering Sciences*, Vol. 5, No. 4.