Karakteristik Biochar Sekam Padi Pada Dua Temperatur Pirolisis (*Rice Husk Biochar Characteristic at two pyrolysis temperature*)

Vera Puspita¹, Syakur¹, Darusman^{1*}

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

*Corresponding author: darusmana@unsyiah.ac.id

Abstrak. Kualitas biochar sangat bergantung kepada bahan baku, lama pembakaran dan temperatur pembakaran. Kandungan senyawa kimia seperti selulosa, hemiselulosa dan lignin yang terdapat dalam bahan baku akan mempengaruhi biochar yang dihasilkan. Rendah dan tingginya temperatur pembakaran akan mempengaruhi sifat biochar (hidrofobik menjadi hidrofilik), mempengaruhi jumlah pori-pori pada biochar sehingga menghasilkan luas permukaan spesifik yang tinggi. Semakin tinggi luas permukaan spesifik pada biochar akan meningkatkan retensi air dan kapasitas tukar kation. Penelitian ini mengkaji kualitas sekam padi akibat pembakaran secara pirolisis dengan menggunakan dua dari tiga indikator kualitas biochar yaitu variasi temperatur pembakaran dan bahan baku. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fisika Tanah dan Lingkungan Universitas Syiah Kuala. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah chamber muffler dengan temperatur pembakaran yang diatur pada 400°C dan 800°C dengan waktu pemanasan masing-masing 4 jam. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa temperatur pembakaran dan bahan baku pembuatan biochar berpengaruh terhadap semua variabel karakteristik biochar yaitu rendemen, kadar air, kemampuan memegang air, pH, daya hantar listrik, zat menguap, kadar abu, karbon terikat.

Kata kunci: Biochar, temperatur, *proximat analysis*, karbon terikat

Abstract. The quality of biochar is highly dependent on the raw materials, duration of combustion and combustion temperature. The content of chemical compounds such as cellulose, hemicellulose and lignin contained in the raw materials will affect the biochar produced. Low and high combustion temperatures will affect the nature of the biochar (hydrophobic to hydrophilic), affecting the number of pores in the biochar resulting in a high specific surface area. The higher the specific surface area of the biochar, the higher the water retention and cation exchange capacity. This study examines the biochar quality of rice husks due to pyrolysis combustion using two of three indicators of biochar quality, namely variations in combustion temperature and raw materials. This research was conducted at the Laboratory of Soil and Environmental Physics, Syiah Kuala University. The tool used in this study is a chamber muffler with a combustion temperature set at 400°C and 800°C with a heating time of 4 hours each. The results of this study indicate that the combustion temperature and raw materials for biochar have an effect on all variables of biochar characteristics, namely yield, water content, water holding capacity, pH, electrical conductivity, volatile matter, ash content, and fixed carbon.

Keywords: Biochar, temperature, *proximat analysis*, fixed carbon

PENDAHULUAN

Biochar merupakan arang hitam yang kaya karbon. Pada bidang pertanian biochar digunakan sebagai pembenah tanah. Biochar berasal dari biomassa sisa hasil pengolahan tanaman yang dipanaskan dalam wadah dengan sedikit atau tanpa oksigen. Penambahan biochar ke dalam tanah mampu meningkatkan kualitas tanah, meningkatkan kemampuan tanah untuk menyimpan unsur hara sehingga lebih tersedia untuk tanaman dan sebagai habitat mikroorganisme tanah (Lehman, 2007; Rondon et al., 2007). Pemberian biochar ke dalam tanah dapat meningkatkan kualitas fisik tanah, kimia tanah dan biologi tanah serta dapat menurunkan kadar logam beracun di dalam tanah (Riapanitra and Andreas, 2010). Limbah pertanian terdiri dari dua jenis yaitu: 1) limbah yang mudah terdekomposisi dan 2) limbah yang sulit terdekomposisi. Limbah yang sulit terdekomposisi seperti jenis kayu-kayuan sangat berpotensi dijadikan sebagai biochar.

Pembakaran *pirolisis* merupakan salah satu cara untuk pembuatan biochar, yaitu dengan cara biomassa dibakar dalam kondisi oksigen terbatas. Pirolisis terdiri dari pirolisis cepat dan pirolisis lambat yang dibedakan terutama oleh suhu, laju pemanasan dan waktu. Kondisi

proses pirolisis juga menentukan sifat produk yang dihasilkan. Secara umum produk pirolisis terdiri dari tiga jenis yaitu : (1) Produk padat: berupa residu padat yang kaya kandungan karbon (*char*), (2) Produk cair: berupa (tar, hidrokarbon, dan air), (3) Produk gas: berupa gas (CO , H_2O , CO_2 , C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 dll. [2]. Kondisi proses *pirolisis* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi produk yang dihasilkan pada berbagai kondisi pirolisis

Proses	Temperatur (°C)	Laju Pemanasan (°C/min)	Waktu	Cairan (bio-oil)%	Gas (syngas)	Padatan (biochar)
Pirolisis cepat	450 - 500	> 100	beberapa detik	75	13	12
pirolisis lambat	350 - 750	< 80	Jam - sehari	30	35	35

Sumber: Van et al., (2011)

Pirolisis cepat merupakan proses pemanasan bahan baku yang sangat cepat yang menghasilkan bio-oil yang jauh lebih besar dan biochar yang sedikit. Waktu yang digunakan untuk mencapai suhu puncak ± 2 detik. Pirolisis lambat merupakan proses pembakaran dengan waktu yang digunakan >5 detik untuk produksi syngas, menit jam atau hari untuk produksi biochar. Produk biochar dari pirolisis cepat adalah granular dan memiliki nilai kalor yang lebih rendah dari pada pirolisis lambat. Umumnya biomassa yang dapat dikonversi secara pirolisis adalah biomassa yang mengandung selulosa dan lignin yang tinggi. Temperatur pirolisis dan bahan baku juga mempengaruhi sifat fisika dan kimia biochar.

Kualitas biochar juga dilihat dari karakteristik biochar. Karakteristik biochar berperan pada fungsinya diantaranya sebagai perbaikan kualitas tanah. Karakterisasi bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat dasar dari biochar yang meliputi: 1) pH, 2) kemampuan memegang air, 3) kadar abu, 4) karbon terikat, 5) kadar air, 6) zat mudah menguap, dan 7) rendemen biochar. Perbedaan bahan baku dan proses pembakaran pirolisis biochar akan mempengaruhi sifat fisik dan kimia pada biochar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik biochar dari bahan baku dan temperatur yang berbeda.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fisika Tanah dan Lingkungan Fakultas Pertanian Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.

MATERI DAN METODE

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri Pisau, timbangan analitik, chamber muffler (temperatur konstan), cawan lebur 100 mL, conductivity meter, pHmeter (elektroda kaca caramel), oven, botol kocok, shaker, lumpang dan alu, ayakan (ukuran 149 μm), kamera, alat tulis dan alat-alat laboratorium lainnya. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sekam padi (*Oryza sativa*) dan H_2O untuk analisis pH biochar.

Metode

Pada penelitian pendahuluan dilakukan persiapan beberapa bahan baku (feedstock). Bahan baku yang digunakan merupakan limbah pertanian seperti: sekam padi (*Oryza sativa*).

Prosedur Pengujian di Laboratorium

Proses pembuatan biochar

Pembuatan biochar yaitu proses pembakaran menggunakan chamber furnace yaitu Thermo Scientific Thermolyne F48020-33 dengan temperatur pembakaran yang berbeda yaitu 400°C dan 800°C dalam waktu 4 jam. Setelah itu biochar dihaluskan dan disaring menggunakan saringan berukuran 149 µm. Selanjutnya biochar di uji proksimat

Teknik sampling dan penyimpanan biochar

Teknis pengambilan sampel dilakukan pada masing-masing biochar yang sudah melalui proses penumbukan dan penyaringan. Pengambilan sampel biochar dilakukan secara acak dari yang seragam kemudian dikompositkan. Penyimpanan biochar dengan cara biochar dimasukkan ke dalam wadah yang kedap udara dan disimpan pada ruangan yang tidak terkena matahari langsung. Ini dilakukan karena biochar sangat mudah menyerap air dan unsur-unsur yang ada di udara.

Analisis karakteristik biochar

Rendemen/yield ratio biochar

Rendemen/yield ratio biochar dilakukan untuk mengetahui berat biochar sebelum dibakar (bahan baku) dan setelah dijadikan biochar. Rendemen/yield ratio biochar dilakukan dengan cara membandingkan berat bahan baku biochar sebelum proses pembakaran dan setelah proses pembakaran yang menghasilkan biochar. Kadar air rendemen biochar dilakukan setelah pembakaran bahan baku yang menghasilkan biochar yang kemudian sampel biochar di oven pada suhu 105°C selama 18 jam.

Kemampuan memegang air biochar

Kemampuan memegang air biochar dilakukan menggunakan metode gravimetri dimana sampel biochar direndam dengan air selama 24 jam hingga biochar jenuh dengan air dan setelah itu sampel biochar dimasukkan ke dalam oven pada suhu 105°C selama 48 jam.

Daya hantar listrik biochar

Daya hantar listrik biochar dilakukan untuk mengetahui daya hantar listrik yang terdapat pada biochar. Daya hantar listrik biochar diukur dengan menggunakan konduktiviti meter.

pH biochar

pH biochar dilakukan untuk mengetahui tingkat keasaman pada setiap biochar. pH dilakukan dengan cara mencampurkan biochar dengan H₂O pada perbandingan 1:5 yang kemudian pH diukur dengan pH meter yang dilengkapi dengan elektroda kaca kolamel.

Uji proksimat/Proximate Analysis

Analisis proksimat diperlukan untuk memberikan acuan atau pedoman standar bagi analisis dalam mengidentifikasi, mengevaluasi, mengembangkan dan memonitor kegiatan analisis tersebut. Uji proksimat meliputi analisis kadar air (*moisture*), kadar zat mudah menguap (*volatile matter*), kadar abu (*ash content*) dan karbon terikat (*fixed carbon*). Kadar air biochar dilakukan untuk mengetahui kandungan air yang terdapat dalam biochar. Kadar air (*moisture*) biochar dilakukan dengan cara sampel biochar ditimbang dan kemudian dimasukkan ke dalam oven pada suhu 105°C selama 18 jam. Kadar zat mudah menguap (*volatile matter*) adalah proses kehilangan berat (selain air) yang terdapat dalam biochar. Kadar zat mudah menguap dilakukan dengan cara sampel biochar yang sudah di analisis

kadar air selama 18 jam dimasukkan ke dalam chamber muffle (alat pembakaran) kemudian dipanaskan dengan temperatur konstan 950°C selama 10 menit, setelah di timbang maka didapatkan kadar zat mudah menguap. Kadar abu (*ash content*) dilakukan untuk mengetahui kandungan abu yang terdapat dalam biochar. Kadar abu dilakukan dengan cara sampel biochar yang sudah dianalisis kadar air selama 18 jam dimasukkan ke dalam chamber muffle (alat pembakaran) kemudian dipanaskan dengan temperatur 750°C selama 6 jam, setelah di timbang maka didapatkan kadar abu biochar. Karbon terikat (Fixed carbon) dilakukan untuk mengetahui karbon yang berada didalam biochar.

Analisa Statistik

Analisa statistik yang digunakan adalah statistik deskriptif, yaitu dengan menyajikannya dalam bentuk tabel. Statistik deskriptif adalah bidang statistik yang membicarakan cara atau metode mengumpulkan, menyederhanakan dan menyajikan data sehingga bisa memberikan informasi (Matjik dan Sumertajaya 2002).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil karakteristik biochar dari beberapa jenis bahan baku yang digunakan yaitu sekam padi. Proses pembuatan/pembakaran biochar dibutuhkan waktu 4 jam untuk setiap perlakuan dan temperatur pembakaran biochar terdiri dari temperatur 400°C dan 800°C.

Rendemen/Yield Rattio Biochar

Hasil penelitian pada rendemen/yield ratio biochar menunjukkan bahwa perlakuan dari variasi temperatur dan jenis bahan baku berpengaruh sangat nyata terhadap nilai rendemen/yield ratio biochar seperti yang dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rata-rata rendemen/yield ratio biochar akibat variasi temperatur dan bahan baku

No.	Perlakuan	Rendemen
		%
1	P ₁ (Sekam padi + suhu 400 °C)	34,53
2	P ₂ (Sekam padi + suhu 800 °C)	20,72

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa nilai tertinggi terdapat pada perlakuan P₁ (sekam padi dengan temperatur pembakaran 400°C) yaitu 34,53 %. Menurut Demirbas (2004) kandungan lignin yang tinggi akan menghasilkan pembentukan biochar yang lebih tinggi. Rendemen atau hasil produksi biochar dipengaruhi oleh kondisi pembuatan biochar (*pirolysis*) terutama pengaruh dari temperatur dan lamanya pembakaran. Interaksi temperatur dan waktu sangat berpengaruh terhadap rendemen biochar.

Kadar Air Biochar

Hasil penelitian pada kadar air biochar menunjukkan bahwa perlakuan dari variasi temperatur dan bahan baku berpengaruh sangat nyata terhadap kadar air biochar seperti yang dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rata-rata kadar air biochar akibat variasi temperatur dan bahan baku

No.	Perlakuan	Kadar Air
		%
1	P ₁ (Sekam padi + suhu 400 °C)	10,13
2	P ₂ (Sekam padi + suhu 800 °C)	12,54 ^{abc}

Pada Tabel 3. perlakuan biochar dengan nilai tertinggi pada perlakuan biochar sekam padi dengan pembakaran temperatur 800°C yaitu 12,54 % dan jenis biochar sekam padi dengan pembakaran temperatur 400 yaitu 10,13%. Hal ini dikarenakan sekam padi merupakan jenis bahan baku yang termasuk tidak berkayu, mudah terbakar dan memiliki kandungan lignin yang tidak tinggi daripada bahan baku lainnya. Besar kecilnya kadar air yang didapatkan pada biochar juga mempengaruhi kemampuan biochar dalam memegang air. Semakin lama waktu pembakaran maka kadar air biochar semakin tinggi, hal ini disebabkan karena semakin lama karbonisasi maka pori-pori dari biochar akan semakin terbuka yang menyebabkan terjadinya kontak langsung antara biochar yang bersifat hidroskopik dengan udara sehingga biochar banyak menyerap uap air (Kemas et al., 2018). Biochar juga memiliki kemampuan meretensi air yang cukup tinggi dan kapasitas memegang air yang tinggi.

Kemampuan memegang air biochar

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan dari variasi temperatur dan bahan baku berpengaruh sangat nyata pada kemampuan memegang air biochar seperti yang dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Rata-rata kemampuan memegang air biochar akibat variasi temperatur dan bahan baku

No.	Perlakuan	Kemampuan Memegang Air
		%
1	P ₁ (Sekam padi + suhu 400 °C)	90,07
2	P ₂ (Sekam padi + suhu 800 °C)	87,48

Pada Tabel 4. perlakuan biochar sekam padi dengan temperatur 400° yaitu 90,07 %. Hal ini menunjukkan biochar sekam padi memiliki kemampuan menyerap air yang tinggi. Kemampuan memegang air pada biochar tergantung pada jenis bahan baku yang digunakan dan kondisi pirolisis yang berperan terhadap struktur dan luas permukaan pada biochar. Kemampuan biochar memegang air sangat berguna untuk meningkatkan ketersediaan air pada tanah. Beberapa penelitian melaporkan bahwa penambahan biochar sebagai pembenah tanah mampu meningkatkan kapasitas lapang secara nyata (Glaser et al., 2002). Jumlah dan ukuran pori pada biochar akan berpengaruh terhadap tingkat porositas, tingkat adsorbs dan kapasitas tukar kation.

pH biochar

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan dari variasi temperatur dan bahan baku berpengaruh sangat nyata pada pH biochar seperti yang dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Rata-rata pH biochar akibat variasi temperatur dan bahan baku

No.	Perlakuan	pH
1	P ₁ (Sekam padi + suhu 400 °C)	7,82
2	P ₂ (Sekam padi + suhu 800 °C)	10,79

Pada Tabel 5. dapat dilihat bahwa semua jenis biochar memiliki pH rata-rata di atas 7, sehingga biochar tersebut dapat digunakan sebagai bahan pengganti kapur pada lahan masam . Pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa nilai pH tertinggi terdapat pada biochar kelapa muda dengan yaitu 10,79. Meningkatnya nilai pH erat kaitannya dengan temperatur pembakaran, semakin tinggi temperatur pembakaran maka semakin tinggi pH biochar yang didapatkan (Yuan and Zhang 2011). Hal ini dikaitkan dengan fakta bahwa di dalam biochar terjadi peningkatan konsentrasi sejumlah unsur kation seperti K, Cu, Mn, Mg, Na dan Zn. Biochar umumnya

bersifat alkali yang disebabkan oleh terbentuknya gugus fungsi karboksil dan oksigen serta kandungan karbonat (Cheng et al., 2006; Yuan et al., 2011). Nilai pH pada biochar dipengaruhi oleh bahan baku yang digunakan, suhu pembakaran dan lamanya waktu pembakaran dalam pembuatan biochar. Salah satu sifat biochar yang sering dipertimbangkan adalah pH atau tingkat kemasaman biochar.

Daya Hantar Listrik Biochar

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan dari variasi temperatur dan bahan baku berpengaruh sangat nyata pada daya hantar listrik biochar seperti yang dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Rata-rata daya hantar listrik/DHL biochar akibat variasi temperatur dan bahan baku

No.	Perlakuan	Daya Hantar Listrik
		mS/cm
1	P ₁ (Sekam padi + suhu 400 °C)	0,87
2	P ₂ (Sekam padi + suhu 800 °C)	1,07

Pada Tabel 6. dapat dilihat bahwa biochar yang memiliki daya hantar listrik tertinggi pada biochar seka padi dengan temperatur 800°C yaitu 1,07 mS/cm. Hal ini diduga daya hantar listrik pada biochar juga tergantung pada bahan baku dan suhu pembakaran *pirolisis* yang digunakan. Daya hantar listrik pada biochar biasanya digunakan sebagai proksi untuk salinitas pada tanah dan air (Rhoades, 1996). Daya hantar listrik biochar lebih dipengaruhi oleh bahan baku daripada temperatur pirolisis.

Zat Mudah Menguap Biochar

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan dari variasi temperatur dan bahan baku berpengaruh sangat nyata pada zat mudah menguap biochar seperti yang dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Rata-rata zat menguap/*volatile matter* biochar akibat variasi temperatur dan bahan baku

No.	Perlakuan	Zat Menguap
		%
1	P ₁₁ (Sekam padi + suhu 400 °C)	44,86
1	P ₁₂ (Sekam padi + suhu 800 °C)	14,98

Pada Tabel 7. dapat dilihat bahwa biochar yang nilai tertinggi adalah perlakuan sekam padi dengan temperatur 400°C yaitu 44,86%. Hal ini menandakan senyawa seperti hemiselulosa, selulosa dan lignin telah terurai pada saat proses pembakaran. Terurainya zat mudah menguap pada biochar dapat meningkatkan pembentukan gugus fungsional dalam biochar yang mempengaruhi luas permukaan spesifik dan struktur pori pada biochar (Li et al., 2013). Hal ini sependapat dengan Taufik and Umi (2017), yang menyatakan bahwa semakin tinggi temperatur pirolisis maka semakin rendah zat menguap/*volatile matter* pada biochar. Zat mudah menguap adalah proses kehilangan berat (selain air) yang terdapat dalam biochar. zat menguap/*volatile matter* dipengaruhi oleh temperatur pirolisis dan jenis bahan baku biochar itu sendiri. Tinggi rendahnya zat menguap pada biochar dipengaruhi oleh senyawa-senyawa yang terkandung dalam bahan baku seperti komponen kimia zat ekstraktif.

Kadar Abu Biochar

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan dari variasi temperatur dan bahan baku berpengaruh sangat nyata kadar abu biochar seperti yang dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Rata-rata kadar abu/*ash content* biochar akibat variasi temperatur dan bahan baku

No.	Perlakuan	Kadar Abu
		%
1	P ₁ (Sekam padi + suhu 400 °C)	61,06
2	P ₂ (Sekam padi + suhu 800 °C)	83,18

Pada Tabel 8. didapatkan nilai terendah pada biochar sekam padi dengan temperatur 400°C yaitu 61,06%. Hal ini diduga biochar yang berasal dari kayu-kayuan memiliki kadar abu yang rendah. Biochar yang memiliki kadar abu yang rendah akan menghasilkan karbon yang tinggi. Kadar abu pada biochar sangat bervariasi tergantung suhu pembakaran dan bahan baku yang digunakan. Kandungan abu pada biochar juga mempengaruhi pH, daya hantar listrik, dan komposisi mineral pada biochar (Lehmann, et al., 2011). Tinggi kadar abu dapat menurunkan kadar karbon yang terkandung dalam biochar. Kadar abu pada biochar mempengaruhi mutu biochar karena dapat menyebabkan terjadinya penyumbatan pada pori-pori biochar sehingga luas permukaannya akan berkurang. Setyawan et al. (2018) mengatakan abu yang terdapat pada biochar merupakan oksida-oksida logam yang tidak dapat menguap dan memiliki sifat yang tidak mudah terbakar. Semakin tinggi temperatur dan lama pembakaran maka kadar abu pada biochar semakin meningkat.

Karbon Terikat biochar

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan dari variasi temperatur dan bahan baku berpengaruh sangat nyata pada karbon terikat biochar seperti yang dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Rata-rata karbon terikat/*fixed carbon* biochar akibat variasi temperatur dan bahan baku

No.	Perlakuan	Karbon Terikat
		%
1	P ₁ (Sekam padi + suhu 400 °C)	- 86,23
2	P ₂ (Sekam padi + suhu 800 °C)	- 26,94

Pada Tabel 9. dapat dilihat nilai karbon terikat/*fixed carbon* tertinggi terdapat pada biochar sekam padi gergaji dengan temperatur 400°C yaitu -86,23%. Pada perlakuan sekam padi dengan temperatur 400°C dan temperatur 800°C memiliki nilai rendah. Ini dikarenakan pada saat pembakaran, biochar sekam padi menjadi abu. Karbon terikat/*fixed carbon* merupakan bahan bakar padat yang tertinggal dalam reaktor setelah proses pembakaran. Karbon terikat/*fixed carbon* pada biochar sangat tergantung dari jenis bahan baku (kayu lunak, kayu keras), metode karbonisasi (tipe alat pembakaran, temperatur) dan bentuk biochar (padat, serbuk). Kandungan karbon yang tinggi pada biochar dapat memaksimalkan penyimpanan jumlah karbon yang digunakan sebagai sumber energi atau sebagai adsorpsi polutan pada tanah. Karbon yang terdapat dalam biochar dapat bertahan dalam jangka waktu yang lebih lama di dalam tanah. Selain dapat mengatasi permasalahan pada tanah biochar juga dapat membantu dalam global mitigasi karbon dioksida.

KESIMPULAN DAN SARAN

Variasi temperatur pembakaran pirolisis dan bahan baku (*feedstock*) biochar berpengaruh sangat nyata terhadap karakteristik biochar. Pada bahan baku padi tidak disarankan dalam proses pembuatan dengan temperatur pembakaran 400°C dan 800°C selama 4 jam dikarenakan mempunyai kadar abu yang tinggi dan perlu adanya penelitian lanjutan mengenai karakteristik dan morfologi biochar dengan variasi temperatur dan bahan baku lebih banyak lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Cheng, C.H., Lehmann, J., Thies, J.E., Burton, S.D., and Engeljard, M.H., 2006. Oxidation of black varbon by biotic and abiotic processes. *Organic geochemistry*, 37(11): 1447-1448.
- Demirbas, A., 2004. Effects of temperature and particle size on bio-char yield frpm pyrolysis of agricultural residues. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 72(2), 243-248.
- Glaser, B., Lehmann, J., and Zech, W., 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.
- Kemas, R., Irawan, D., Zanaria, Y., and Adi, N., 2018. Pengaruh cara pembakaran pirolisis terhadap karakteristik dan efesiensi arang dan asap cair yang dihasilkan. Seminar Nasional Teknologi Terapan VI 2018, pp. 141-150. Universitas Muhammadiyah Metro. Lampung.
- Lehmann, J. 2007. A handful of carbon. *Nature*, 477(7141):143–144. doi:10.1038/447143a
- Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J., Masiello, C.A., Hockaday, W.C. and Crowley, D., 2011. *Biochar* effects on soil biota:A review. *Soil Biol. Biochem.* 43:1812–1836.
- Li, M., Liu, Q., Guo, L.J., Zhang, Y.P., Lou, Z.J., Wang, Y., and Qiam, G.R., 2013. Penghapusan Cu(II) dari Larutan Berair dengan Spartana alterniflora Biochar Turunan. *Teknologi Sumber Daya Hayati*, pp. 83-88.
- Rhoades, J.D., 1996. Salinity. Electrical conductivity and total dissolved solids. Mrthods of soi, analysis, Pars 3. *Chemical methods*, pp 417-436.
- Riapanitra, A., and Andreas, R., 2010. Pemanfaatan arang batok kelapa dan tanah humu baturraden unruk menurunkan kada logam krom (Cr). *Molekul*, 5(2), 66-74.
- Rondon, M.A., Lehmann, J., Ram, i.j., and Hurtado, M., 2007. Biologi-Fiksasi Nitrogen kal oleh Kacang Biasa (*Phaseolus vulgaris* L.) Meningkatkan dengan Penambahan Biochar. *Tanah Biol Subur*, 43: 699-708.
- Setyawan, M.N., Wardani, S., and Kusumastuti, E., 2018. Arang kulit kacang tanah teraktivasi h3po4 sebagai absorben ion logam Cu (II) dan diimobilisasi dalam bata beton. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(3), pp. 262-269.
- Taufik, I., and Umi, R., 2017. Karakteristik biochar berdasarkan jenis biomassa dan parameter proses pyrolysis. *Jurnal Teknik Kimia*, 12(1): 28-35
- Van der stelt, M.J.C., Gerhauser, H., Kiel, J.H., and Ptasinski, K.J., 2011. Biomass upgrading by tirrefaction for the production of biofuels. *Biomass and Bioenergy*, 35(9), 3748-3762.
- Yuan, J., Xu, R., and Zhang, H., 2011. The Forms of Alkalies in the Biochar Produced from Crop Residues at Different Temperatures. *Bioresour. Technol.* 102, pp. 3488-3497.