

BIOCHAR DARI CANGKANG BIOMASSA DENGAN PROSES KARBONISASI

Nana Dyah Siswati ¹⁾, Nur Laily Agustina ²⁾, Dinda Mahdiyyah Santoso ³⁾

^(1,2,3)Program Studi Teknik Kimia Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur
Jalan Raya Rungkut Madya No.1 Gunung Anyar, Kota Surabaya, Jawa Timur 60249, Indonesia
Penulis korespondensi: nurlaily.agustina@gmail.com

Abstrak

Limbah cangkang biomassa dapat dimanfaatkan sebagai biochar. Cangkang kluwak dan cangkang karet merupakan limbah pabrik rempah, dan limbah perkebunan. Kedua cangkang tersebut mengandung selulosa dan lignin yang merupakan parameter penting dalam pembuatan biochar. Pada penelitian ini, pembuatan biochar dilakukan dengan proses karbonisasi. Variabel yang diuji adalah suhu (200°C, 250°C, 300°C, 350°C) dan waktu karbonisasi (30 menit, 45 menit, 60 menit, 75 menit) pada masing-masing cangkang biomassa. Cangkang biomassa terlebih dahulu dianalisa kandungan selulosa dan lignin dengan metode Chesson, kemudian biochar cangkang biomassa dianalisa dengan metode Fixed Carbon untuk mengetahui kadar carbon, abu, air dan volatile matter. Hasil terbaik dari penelitian ini yaitu pada suhu 350°C dan waktu 45 menit. Pada cangkang kluwak didapatkan kadar carbon 92,380%, kadar abu 1,246%, kadar air 3,650% dan kadar volatile matter 2,724%. Pada cangkang karet didapatkan kadar carbon 87,362%; kadar abu 4,956%; kadar air 1,158% dan kadar volatile matter 6,524%. Hasil kadar biochar pada kedua cangkang biomassa sesuai dengan SNI yaitu kadar minimal 65%, kadar abu maksimal 15%, kadar air maksimal 10%, dan kadar volatile matter maksimal 25%.

Kata kunci: biochar; karbonisasi; limbah cangkang biomassa

BIOCHAR FROM BIOMASS SHELL WITH CARBONIZATION PROCESS

Abstract

Biomass shell waste can be utilized as biochar. Kluwak shells and rubber shells are the waste of spice factories, and plantation waste. Both shells contain cellulose and lignin which are important parameters in the manufacture of biochar. In this study, the manufacture of biochar is done by carbonization process. The variables tested were the temperature (200 °C, 250 °C, 300 °C, 350 °C) and the carbonization time (30min, 45 min, 60 min, 75 min) on each biomass shell. Biomass shells were first analyzed by cellulose and lignin by Chesson method, then biochar biomass shells were analyzed by Fixed Carbon method to determine the levels of carbon, ash, water, and volatile matter. The best results of this study were at a temperature of 350 °C and 45 minutes. In kluwak shells obtained carbon content of 92.380%, ash content of 1.246%, water content of 3.650%, and volatile matter content of 2.724%. In the rubber shell, carbon content is 87.362%, ash content is 4.956%, moisture content is 1.158% and volatile matter content is 6.524%. The results of biochar content in both biomass shells in accordance with SNI are 65% minimum content, 15% maximum ash content, 10% maximum moisture content, and 25% maximum volatile matter content.

Keywords: biochar; carbonization; shell waste biomass

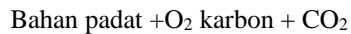
PENDAHULUAN

Biochar adalah material karbon padat yang dihasilkan dari pembakaran (biomasa atau bahan organik) pada kondisi sedikit atau tanpa oksigen. Pada beberapa penelitian yang telah dilakukan, pembuatan bahan baku biochar secara umum terbuat dari tanaman berkayu. Namun tidak hanya meng-

gunakan bahan baku berkayu, tetapi juga dapat menggunakan bahan baku lunak. Cangkang kluwak dapat dimanfaatkan sebagai biochar. Biochar sendiri dapat dimanfaatkan untuk tanah seperti peningkatan fungsi tanah dan untuk pengurangan emisi dari biomasa. Pada proses pembuatan biochar ini menggunakan metode karbonisasi. Karbonisasi merupakan salah satu metode untuk menghasilkan

arang dengan memasukkan biomassa padat. Distilasi kering merupakan salah satu istilah dari karbonisasi yang berarti pembuatan arang (Ridhuan, 2016)

Karbonisasi merupakan salah satu prosedur pembuatan karbon. Menurut (Ridhuan, 2016), Karbonisasi merupakan proses pembuatan arang berkarbon melalui proses konversi zat. Karbonisasi sendiri dapat dilakukan dengan menggunakan alat *furnace*, dimana cara kerja alat tersebut adalah proses pembakaran dengan menggunakan oksigen, berikut adalah reaksi dari proses karbonisasi:



Pada proses karbonisasi ini, terdapat lignin dan selulosa yang merupakan komponen utama pembentukan kristalit arang dari atom karbon. Menurut (Destyorini, 2010) bahwasanya senyawa hemiselulosa terurai pada suhu 200°C-260°C, selanjutnya selulosa pada suhu 240°C-350°C, dan lignin pada suhu 280°C-500°C.

Biochar berguna untuk tanah karena sebagai pembenah tanah agar bermanfaat bagi lingkungan (Astuti, 2018). *Biochar* digunakan untuk tanah bersama pupuk organik dan anorganik. Aplikasi *biochar* untuk tanah merupakan hal baru yang dapat menampung CO₂ dalam jangka panjang serta dapat memberi keuntungan pada tanaman sehingga produksi tanaman menjadi meningkat dan menjadi subur (Gani, 2009). *Biochar* dihasilkan melalui teknologi proses dari bahan organik dengan kondisi oksigen yang terbatas.

Tujuan utama *biochar* untuk memperbaiki kualitas tanah menurut (Joseph et al, 2009) yaitu meningkatkan kapasitas menahan air dalam tanah, meningkatkan stabilitas sumber karbon, melindungi senyawa beracun, dan pengikatan nutrisi.

Kegunaan *biochar* mempengaruhi tekstur, struktur dan kedalaman tanah sehingga dapat diberikan penambahan *biochar* ke tanah (Kolb, 2007). Selain itu dapat mempengaruhi perubahan luas permukaan (Troeh dan Thompson, 2005), dan juga mempengaruhi distribusi ruang pori, kerapatan pemampatan (Paul, 2007).

Pengaruh *biochar* terhadap sifat fisik tanah mempengaruhi pertumbuhan tanaman karena zona perakaran ditentukan oleh perbaikan horizon tanah (Brady dan Weil, 2008). Setiap produk pastinya memiliki standar mutu tertentu, begitu pula dengan *biochar*. Tabel 1 adalah persyaratan *biochar* menurut SNI 06-3730-1995.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui jenis cangkang biomassa terbaik untuk diaplikasikan sebagai *biochar* yang dapat bermanfaat dalam bidang pertanian dan mengamati pengaruh suhu dan waktu karbonisasi terhadap kadar karbon, kadar air, kadar abu, dan kadar *volatile matter* sehingga didapatkan *biochar* dengan kualitas yang lebih baik

Tabel 1. Persyaratan *Biochar* Berdasarkan SNI 06-3730-1995

Jenis Parameter	Nilai
Kadar Air	Maksimal 10%
Kadar Abu	Maksimal 15%
Kadar Zat Menguap	Maksimal 25%
Kadar Karbon Terikat	Minimal 65%
Daya Serap Terhadap Zodium	Minimal 750 mg/g
Daya Serap Terhadap Benzena	Minimal 25%

Sumber: Badan Standarisasi Nasional, 1995

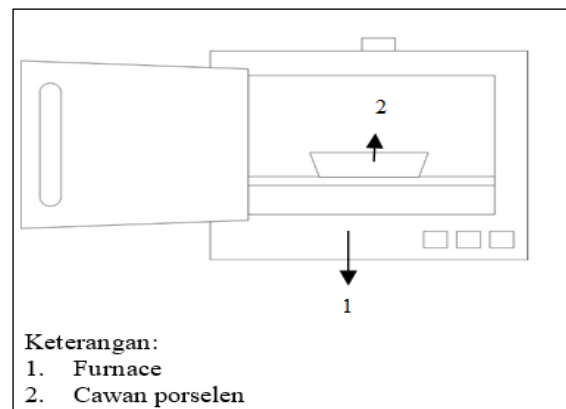
METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah cangkang biomassa, yaitu cangkang kluwak yang didapat dari limbah industri Bumbu Masak Machmudah, dan cangkang karet yang didapat dari limbah industri karet PT. Perkebunan Nusantara XII.

Alat

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peralatan utama

Prosedur

Persiapan Bahan Baku

Langkah yang harus dilakukan adalah mencuci cangkang dengan air terlebih dahulu lalu dikeringkan. Cangkang dipotong menjadi ukuran yang lebih kecil. Setelah mendapatkan cangkang dengan ukuran yang lebih kecil, cangkang diayak terlebih dahulu agar mendapatkan ukuran yang seragam. Setelah itu cangkang ditimbang secara bertahap hingga mendapatkan berat sebesar 150 gr.

Proses Karbonisasi

Pada proses karbonisasi ini menggunakan metode karbonisasi dengan alat furnace dengan kondisi operasi. Kondisi operasi ditentukan berdasar-

kan parameter yang diuji dapat terurai pada suhu tertentu. Seperti selulosa terurai pada suhu 240°C-350°C dan lignin pada suhu 280°C-500°C. maka kondisi operasi dalam proses karbonisasi yaitu 500°C.

Pada metode karbonisasi ini dilakukan dengan adanya oksigen saat pembakaran biomassa. Cangkang diletakkan di cawan porselen dengan berat yang telah ditetapkan yaitu 150 gr, lalu di masukkan ke alat *furnace* dengan suhu dan waktu yang telah divariasi.

Proses Pengambilan Produk

Proses pengambilan produk dapat dilakukan setelah proses karbonisasi selesai. Tunggu hingga keadaan didalam *furnace* bersuhu normal karena kondisi di dalam *furnace* sangat panas. sehingga tidak memungkinkan untuk mengambil.

Analisa

Metode Chesson digunakan untuk mengetahui kadar dari bahan yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin. Sedangkan metode analisa produk menggunakan metode analisa *fixed carbon*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian pembuatan *biochar* dari cangkang biomassa dengan metode karbonisasi ini, terlebih dahulu dilakukan uji analisa kadar selulosa dan lignin untuk mengetahui kelayakan bahan baku. Pengujian dilakukan dengan metode Chesson. Setelah itu, dilanjutkan dengan analisa *biochar* untuk mengetahui kadar karbon, abu, air dan *volatile matter* dengan menggunakan metode *fixed carbon*.

Hasil Analisa Bahan Baku

Pada hasil analisa komponen kimia pada cangkang kluwak (Tabel 2) dan cangkang karet (Tabel 3) dengan metode Chesson, didapatkan kadar selulosa dan lignin cukup tinggi sehingga berpotensi untuk diolah menjadi *biochar*. Hal ini dikarenakan, selulosa dan lignin merupakan komponen utama *biochar*.

Tabel 2. Komponen Kimia Cangkang Kluwak

Komponen Kimia	Kandungan (%)	Kandungan (%)
	Ulangan 1	Ulangan 2
Hemiselulosa	24,2805	24,1091
Selulosa	36,1690	36,1958
Lignin	22,6259	22,3595

Tabel 3. Komponen Kimia Cangkang Karet

Komponen Penyusun	Kandungan (%)	Kandungan (%)
	Ulangan 1	Ulangan 2
Selulosa	33,1269	33,0914
Lignin	18,8892	18,9001

Hasil Analisa Produk

Syarat utama dari *biochar* yang baik yaitu yang pertama memiliki kadar karbon tinggi sehingga meningkatkan kandungan organik tanah. Kandungan karbon dalam tanah dapat dijadikan indikator dalam kualitas tanah (Ratmini, 2018). Kedua, kadar abu yang rendah, karena abu dapat mempengaruhi kualitas dari *biochar*. Menurut (Iskandar, 2017) luas permukaan *biochar* berkurang disebabkan penyumbatan pori-pori karena adanya abu. Ketiga, kadar air yang rendah dapat membantu mempercepat penyerapan unsur hara dan atau air (Iskandar, 2017). Terakhir kadar *volatile matter* rendah, sama halnya dengan abu, *volatile matter* adalah zat terbang yang belum menjadi abu dan dapat mempengaruhi kualitas *biochar* pula. Dikarenakan apabila kadar VM tinggi, maka dapat berdampak pada daya serap arang karena menutupi permukaan atau pori -pori arang (Siahaan, 2013).

Cangkang Kluwak

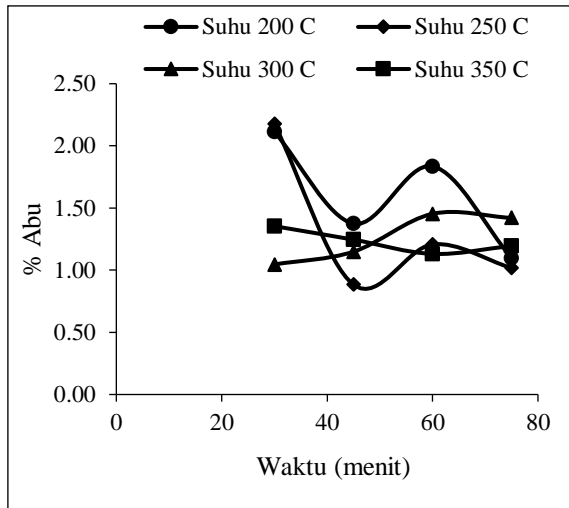
Gambar 2 (a-d) merupakan hasil analisa *biochar* cangkang kluwak. Dimana Gambar (a) merupakan hubungan antara waktu dan suhu dengan kadar abu. Pada Gambar (a) didapatkan kadar abu yang fluktuatif seiring bertambahnya suhu dan waktu karbonisasi, namun cenderung menurun. Naik turunnya kadar abu diakibatkan lignin belum terurai semua. Menurut (Destyorini, 2010) lignin terurai paling akhir yaitu pada 280°C-500°C.

Selanjutnya pada Gambar (b) didapatkan hasil yang fluktuatif seiring dengan bertambahnya waktu karbonisasi dan suhu, yaitu pada suhu 300°C dan 350°C semakin naik, namun pada suhu 200°C dan 250°C didapatkan kadar air yang semakin menurun. Menurut (Hartanto, 2010) kadar air semakin menurun dikarenakan semakin lama waktu karbonisasi, namun pada gambar didapat hasil yang fluktuatif. Hal ini dikarenakan proses pemindahan *biochar* dari *furnace* ke alat penimbangan, sehingga terjadi kontak langsung dengan udara. Sifat higroskopis *biochar* menyebabkan pori-pori semakin terbuka.

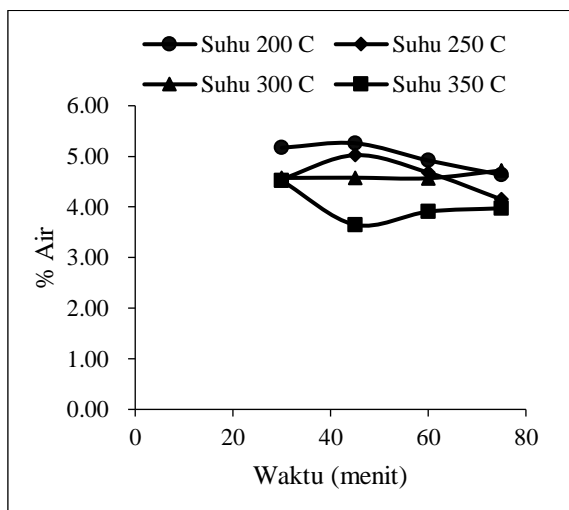
Pada Gambar (c) menunjukkan kadar *volatile matter* yang tidak stabil. Namun semakin naiknya suhu kadar *volatile matter* semakin turun. Ketika suhu 250°C dan 300°C pada menit ke 60 didapatkan kadar *volatile matter* yang naik. Namun, turun kembali pada suhu 350°C. Menurut (Siahaan, 2013) dapat disebabkan adanya kontak antara karbon dengan udara sehingga kadar zat *volatile matter* meningkat.

Karbon merupakan salah satu komponen utama dalam *biochar*. Karbon berperan penting sebagai adsorben jika digunakan dalam pertanian karena carbon menyerap CO₂ di dalam tanah. Pada Gambar (d) didapatkan kadar karbon yang meningkat seiring bertambahnya waktu dan suhu karbonisasi, hasil terbaik pada suhu 350° C 45 menit. Teori (Saktiawan, 2008) menjelaskan kadar karbon

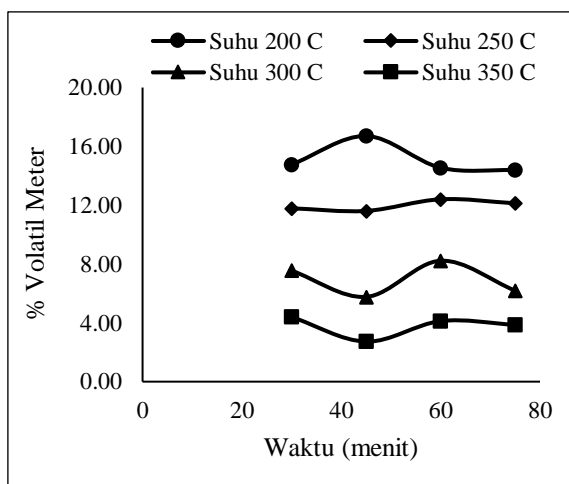
berbanding terbalik dengan kadar abu, air dan *volatile matter*. Menurut (Siahaan, 2013) pelat-pelat karbon dapat rusak seiring bertambahnya waktu karbonisasi, karena terjadi oksidasi yang berlebihan.



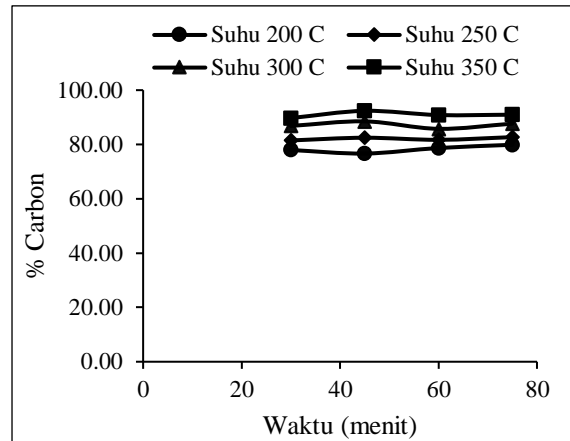
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 2. Hasil Analisa *Biochar* Cangkang Kluwak (a) Hubungan Antara Waktu dan Suhu dengan Kadar Abu; (b) Hubungan Antara Waktu dan Suhu dengan Kadar Air; (c) Hubungan Antara Waktu dan Suhu dengan Kadar *Volatile Matter*; (d) Hubungan Antara Waktu dan Suhu dengan Kadar Karbon

Cangkang Karet

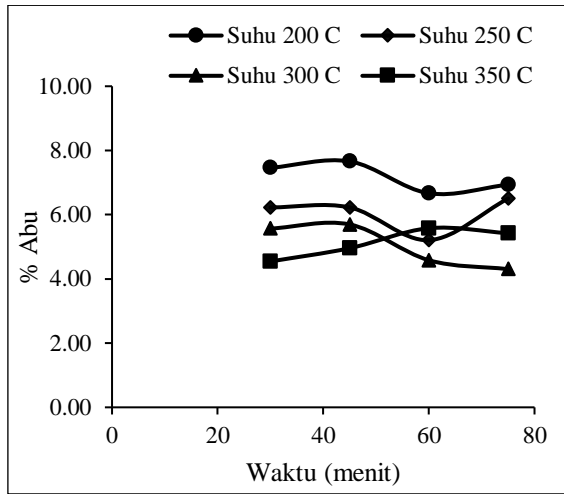
Gambar 3 (a-d) merupakan hasil analisa *biochar* cangkang karet, dimana pada Gambar (a) didapatkan kadar abu, yang fluktuatif seiring bertambahnya suhu dan waktu karbonisasi namun cenderung menurun. Naik turunnya kadar abu diakibatkan lignin belum terurai semua. Menurut (Destyorini, 2010) lignin terurai paling akhir yaitu pada 280°C-500°C.

Pada gambar (b) didapatkan kadar air yang cukup stabil pada suhu 250°C dan 300°C. Namun kadar air meningkat ketika suhu 200°C dan 350°C, tidak sesuai dengan teori yang ada. Menurut (Hartanto, 2010) lama waktu karbonisasi mempengaruhi kadar air, semakin menurun karena terjadi kontak langsung antara *biochar* dengan udara saat pemindahan *biochar* dari *furnace* ke alat penimbangan.

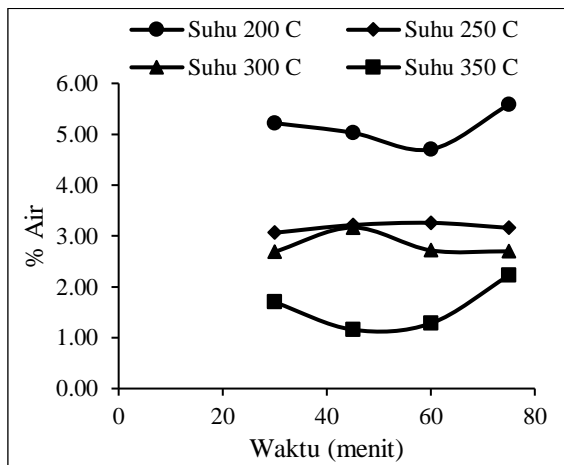
Pada Gambar (c) menunjukkan kadar *volatile matter* yang tidak stabil. Namun semakin naiknya suhu karbonisasi, kadar *volatile matter* semakin turun. Ketika suhu mencapai 250°C, 300°C, dan 350°C pada menit ke 75 didapatkan kadar *volatile matter* yang naik. Menurut (Siahaan, 2013) hal ini disebabkan karena terjadinya kontak langsung antara karbon dengan udara yang menyebabkan kadar zat mudah menguap meningkat.

Pada Gambar (d) didapatkan kadar carbon yang meningkat seiring bertambahnya waktu dan suhu karbonisasi. Hasil terbaik pada suhu 350°C, waktu 45 menit, yang sesuai dengan teori kadar karbon berbanding terbalik dengan kadar abu, air dan *volatile matter*. Menurut (Saktiawan, 2008) kadar karbon terikat akan semakin tinggi apabila kadar air,

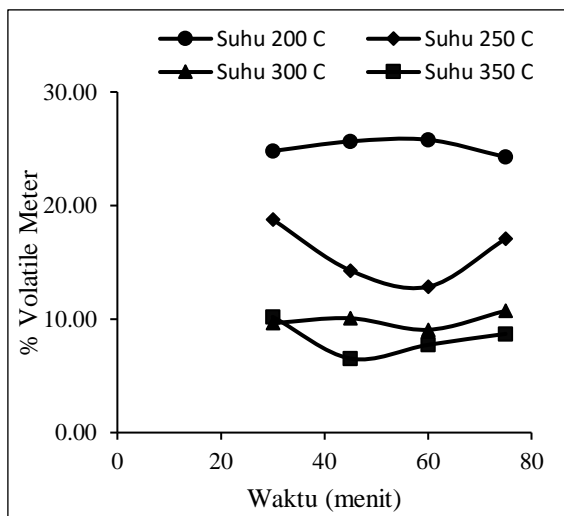
abu dan volatile matter semakin rendah. Menurut (Siahaan, 2013) pelat-pelat karbon dapat rusak seiring bertambahnya waktu karbonisasi, karena terjadi oksidasi yang berlebihan.



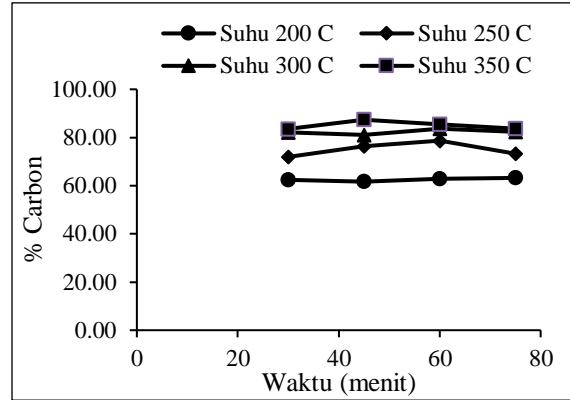
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 3. Hasil Analisa *Biochar* Cangkang Karet (a) Hubungan Antara Waktu dan Suhu dengan Kadar Abu; (b) Hubungan Antara Waktu dan Suhu dengan Kadar Air; (c) Hubungan Antara Waktu dan Suhu dengan Kadar *volatile matter*; (d) Hubungan Antara Waktu dan Suhu dengan Kadar Karbon

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dengan variabel waktu dan suhu karbonisasi, didapatkan kadar terbaik untuk kedua cangkang biomassa pada suhu 350°C dengan waktu 45 menit. Pada cangkang kluwak didapatkan kadar karbon sebesar 92,380 %, kadar abu sebesar 1,246 %, kadar air sebesar 3,650 %, dan kadar *volatile matter* sebesar 2,724 %. Untuk cangkang karet didapatkan kadar karbon sebesar 87,362 %, kadar abu sebesar 4,956 %, kadar air sebesar 1,158 %, dan kadar *volatile matter* sebesar 6,524 %. Dari hasil penelitian yang dilakukan, pada kedua cangkang biomassa tersebut, didapatkan hasil yang sesuai dengan SNI. Kadar karbon menurut SNI minimal 65%, kadar abu maksimal 15%, kadar air maksimal 10%, dan kadar *volatile matter* maksimal 25%. Namun, cangkang kluwak lebih efektif digunakan sebagai *biochar* karena memiliki kadar carbon yang tinggi. Sebagaimana yang telah diketahui bahwa kadar carbon yang tinggi memudahkan *biochar* untuk menyerap CO₂ yang tidak baik dalam perkembangan tumbuhan dalam bidang pertanian serta dapat meningkatkan kandungan bahan organik tanah (Ratmini, 2018). Selain itu didapatkan kadar abu yang lebih rendah dari cangkang karet. Kadar abu yang tinggi dapat mempengaruhi kualitas dari *biochar*, yaitu menyebabkan terjadinya penyumbatan pori-pori pada *biochar* (Iskandar, 2017). Sedangkan kadar *volatile matter* pada *biochar* cangkang kluwak lebih rendah dibandingkan cangkang karet, hal ini baik untuk *biochar* karena *volatile matter* berdampak pada daya serap arang (Siahaan, 2013). Namun, *biochar* cangkang kluwak ini memiliki kelemahan, yaitu kadar air yang lebih tinggi dibandingkan cangkang karet. Dimana, kadar air yang tinggi dapat memperlambat penyerapan unsur hara atau air (Iskandar, 2017). Adapun parameter suhu dan waktu

mempengaruhi kadar carbon, abu, *volatile matter* dan air pada *biochar*. Karena semakin lama waktu dan tinggi suhu dapat mempengaruhi kinerja *biochar* Ketika diaplikasikan di dalam tanah.

SIMPULAN

Hasil penelitian pada kedua cangkang biomassa, didapatkan hasil terbaik sesuai dengan SNI pada suhu 350°C dan waktu 45 menit yaitu untuk cangkang kluwak didapatkan kadar karbon sebesar 92,380%, kadar abu sebesar 1,246%, kadar air sebesar 3,650%, dan kadar *volatile matter* sebesar 2,724%. Untuk cangkang karet didapatkan kadar karbon sebesar 87,362%, kadar abu sebesar 4,956%, kadar air sebesar 1,158%, dan kadar *volatile matter* sebesar 6,524% (SNI: kadar karbon minimal 65%; kadar abu maksimal 15%; kadar air maksimal 10%; dan kadar *volatile matter* maksimal 25%). Kadar karbon *biochar* dari cangkang kluwak lebih tinggi, jadi lebih efektif diaplikasikan dalam bidang pertanian sesuai dengan syarat utama *biochar*.

SARAN

Diharapkan para peneliti selanjutnya untuk melakukan pembakaran cangkang biomassa hingga suhu 500°C agar didapatkan hasil yang lebih baik. *Biochar* dapat diolah kembali menjadi biobriket dengan menambahkan perekat. Selain itu hasil *biochar* ini dapat diteliti lebih lanjut untuk melihat volume dan diameter pori-pori nya, dan juga dapat diteruskan untuk meneliti daya serap.

DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, D. H., Sani, dan Yohanes. G. Y., dan Karlin. 2018. "Kajian Karakteristik Biochar dari Batang Tembakau, Batang Pepaya dan Jerami Padi dengan Proses Pirolisi". Jurnal Teknik Kimia. 12(2) :42.
- Brady, N.C. dan Ray. R. W. 2008. An Introduction to the Nature and Properties of Soil. 14th edition, Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ. 1089 pp.
- Destyorini, F., Suhandi, A., Subhan, A., Indayaningsih, N. 2010. "Pengaruh Suhu Karbonisasi Terhadap Struktur Dan Konduktivitas Listrik Arang Serabut Kelapa". Jurnal Fisika 10(2):124-125.
- Gani, A. 2009. "Potensi Arang Hayati "Biochar" sebagai Komponen Teknologi Perbaikan Produktivitas Lahan Pertanian". Iptek Tanaman Pangan 4(1): 36 .
- Hartanto, Singgih dan Ratnawati. 2010 dalam Journary, E., Julham, P. P., dan Netti, H. 2015. "Pengaruh Suhu Dan Waktu Karbonisasi Terhadap Nilai Kalor Dan Karakteristik Pada Pembuatan Bioarang Berbahan Baku Pelepeh Aren (*Arenga Pinnata*)". Jurnal Teknik Kimia USU 4(2) : 48.
- Iskandar, T., Rofiatin, U. 2017. "Karakteristik Biochar Berdasarkan Jenis Biomassa Dan Parameter Proses Pyrolisis". Jurnal Teknik Kimia 12(01) : 31
- Joseph, S., Lehmann, J., Peacock, C. and Munroe, P. 2009. Developing a biochar classification and test methods. p.:107-126. In J. Lehman and S. Joseph (Eds.): Biochar for Environmental Management. Earthscan Pub. Co. London, UK.
- Kolb, S. 2007. Understanding the Mechanisms by which a Manure-Based Charcoal Product Affects Microbial Biomass and Activity. PhD thesis. University of Wisconsin, Green Bay, US.
- Paul, E.A. 2007. Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry. 3th (ed). Elsevier. Amsterdam, The Netherlands. 515 pp.
- Ratmini, N. L. P. S., Juwita, Y., Sasmita, P. 2018. "Pemanfaatan Biochar Untuk Meningkatkan Produktivitas Lahan Sub Optimal". Jurnal Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal 505.
- Ridhuan, K. dan Joko, S. 2016. Perbandingan Pembakaran Pirolisis Dan Karbonisasi Pada Biomassa Kulit Durian Terhadap Nilai Kalori. Jurnal Teknik Mesin Univ. Muhammadiyah Metro, 5(1) : 51-52.
- Saktiawan, I., 2008 dalam Qurotullaili, Komalasari dan Zuchra, H. 2017. "Bahan Bakar Padat Dari Pelepeh Sawit Menggunakan Proses Karbonisasi Dengan Variasi Ukuran Bahan Baku Dan Suhu". Jurnal Fakultas Teknik 4(1) : 4.
- Siahaan, S., Melvha, H., dan Rosdanelli, H. 2013. "Penentuan Kondisi Optimum Suhu Dan Waktu Karbonisasi Pada Pembuatan Arang Dari Sekam Padi". Jurnal Teknik Kimia USU 2(1) : 29.
- Troeh, F.R. dan Louis, M. T. 2005. Soil and Soil Fertility. Blackwell Publishing, Iowa, US. 498pp.