

KARAKTERISTIK ARANG KARBON DARI LIMBAH SERBUK KAYU DENGAN VARIASI LAJU PEMANASAN DAN LAJU HISAP GAS SEBAGAI ADSORBEN DENGAN PIROLISIS TWIN RETORT

Endah Ayuningtyas^{a, 1, *}, Muhammad Noviansyah Aridito^{b, 2)},

^{a)}Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Yogyakarta, Jl.janti km 4,
Gedongkuning,Bantul,Yogyakarta

^{b)} Teknik Lingkungan,Universitas Proklamasi 45, Jl. Proklamasi No.1 , Babarsari,
Sleman,Yogyakarta

¹⁾endahA25@ity.ac.id; ²⁾noviansyaharidito@up45.ac.id

korespondensi penulis : endahA25@ity.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik karbon arang briket serbuk kayu sebagai bahan karbon aktif untuk adsorben melalui proses pirolisis dengan variasi laju pemanasan dan laju hisap gas. Proses pirolisis yang digunakan menggunakan metode Twin Retort Rocket Stove. Proses pirolisis dilakukan pada suhu puncak 500° C dengan variasi Laju pemanasan yang digunakan yakni 5,67 C/menit, 8,33 C/menit dan 16,67 C/menit dan laju hisap gas yakni dengan rendah (valve terbuka ¼), sedang (terbuka ½) dan tinggi (terbuka penuh). Proses dibatasi selama 2 Jam. Hasil penelitian menunjukkan karakteristik karbon (arang) serbuk kayu pada parameter kadar karbon terikat, kadar abu, kadar zat terbang, kadar air melalui proses pirolisis twin retort selama 2 jam dengan suhu puncak 500C dengan variasi laju pemanasan 5,67 C/menit – 16,67 C/menit dan laju hisap gas semua sampel memiliki standar melebihi SNI Karbon Aktif untuk keempat parameter tersebut, kondisi operasional dan metode tersebut dapat digunakan untuk konversi limbah biomassa serbuk kayu menjadi bahan baku karbon aktif untuk adsorben, namun perlu dilakukan pengujian lebih lanjut pada parameter serapan Iod. Hasil karakteristik Karbon berdasarkan standar karbon aktif SNI untuk parameter Kadar Karbon Terikat, dan Kadar Zat Terbang dengan kualitas paling baik ditunjukkan pada sampel dengan laju pemanasan dan laju hisap gas terendah 81.03 % dan 4,49% sedangkan hasil karakteristik karbon dengan parameter kadar air terendah yakni pada sample B3 dengan laju pemanasan tertinggi dan laju hisapsedang sebesar 6,36% . Hasil karbon dengan kadar abu terendah pada sample C3 dengan laju pemansasan tertinggi dan laju hisap gas tinggi sebesar 5,57%

Kata kunci: Karbon aktif, Pirolisis, Twin Retort , Serbuk Kayu

CHARACTERISTIC OF SAWDUST CARBON WITH VARIATION OF HEATING RATE AND GAS SUCTION RATE AS ADSORBENTS USING TWIN RETORT PYROLYSIS

ABSTRACT

This study aims to determine the characteristic of sawdust charcoal briquettes as activated carbon for adsorbents through the pyrolysis process with variations in heating rate and gas suction rate. The Pyrolysis process used is the Twin Retort Rocket Stove Method. The Pyrolysis was carried out at peak temperature of 500 C with variation in heating rate used, namely 4,67 C/min, 8,33 C/min and 16,67 C/min and the gas suction rate was low (open valve ¼), medium (open ½) and high (fully open). Process is limited to 2 hours. The result showed the characteristic of the carbon (charcoal) of sawdust on the parameters of Fixed carbon, ash content, volatile matter, moisture content through a twin retort pyrolysis for 2 hours with peak temperature 500C and variations of heating rate of 5,67 c/min-16,67 C/min and gas suction rate of all samples have standard exceeding SNI Activated carbon for these four parameters. The operational conditions and these methods can be used for converting sawdust biomass waste into activated carbon raw material for adsorbents, but further testing needs to be done of there parameters Iod. The result of the characteristic of carbon based on SNI Activated carbon standars for parameters Fixed carbon and volatile matter with the best quality were shown in samples with lowest heating rate and gas suction of 81,03% and 4,49%, while the

result of carbon characteristic with lowest moisture contents were on sample with highest heating rate and medium suction rate of 6,63%. Carbon characteristic with lowest ash content in sample with highest heating rate and gas suction rate of 5,57%

Keywords: Activated Carbon , Pyrolysis, Twin Retort, Sawdust

PENDAHULUAN

Proses industri kayu terus berkembang dan memiliki potensi limbah 40,48% yang terdiri dari sabutan kayu 22,32% , potongan kayu 9,39% dan Serbuk gergaji 8,77% dari total produksi kayu (Purwanto, Djoko 2009) . Produksi dari penggergajian kayu 2,6 juta m³ dan diperkirakan memiliki potensi limbah serbuk kayu minimal 200 ribu m³ per tahun.(Bahri, Syamsul 2007). Hal tersebut dapat menjadi dampak dari pencemaran lingkungan bila tidak dikelola.

Salah satu cara untuk mengatasi dampak pencemarannya yakni dimanfaatkan sebagai bahan baku karbon aktif untuk adsorben. Adsorben memiliki banyak fungsi untuk perbaikan kualitas lingkungan,khususnya dalam pengolahan limbah cair dan udara. Pencemaran lingkungan tentunya membutuhkan solusi pengolahan limbah agar dapat *sustainable* sehingga karbon aktif memiliki peran penting untuk pengolahannya.

Arang dari serbuk kayu memiliki posisi strategis ,baik sebagai sumber energi maupun sebagai bahan baku karbon aktif untuk adsorben berbagai kebutuhan penjernihan. Salah satu standar karbon aktif yakni Standar SNI dengan parameter Kadar Karbon Terikat (Fixed Carbon), Kadar Zat Terbang (Volatile Matter), Kadar Abu (Ash Content) , Kadar Air (Moisture Content) dan Penyerapan iod menurut SNI 06-3730-1995 tentang Syarat mutu dan pengujian arang aktif . Proses Pirolisis dengan metode twin retort mampu mengubah serbuk kayu dalam bentuk briket menjadi arang karbon dengan kondisi tanpa udara (minimoksigen) dengan variasi laju pemanasan dalam kondisi slow pirolisis. Metode Pirolisis ini juga memungkinkan hisapan gas pirolisis yang digunakan kembali sebagai bahan bakar sumber pemanasan. Variasi laju hisap juga dapat dilakukan untuk memperoleh hasil arang karbon sesuai kebutuhan. Teknologi dengan metode ini lebih ramah lingkungan dalam proses pengarangan-pirolisis karena pemanfaatan gas,kedap udara, dapat mencapai suhu lebih dari 500C, dilakukan variasi laju pemanasan dan laju hisap gas. Variasi laju pemanasan dan laju hisap gas perlu dilakukan untuk mengetahui kualitas arang karbon hasil proses pirolisis.

Teknologi yang digunakan yakni *Twin Retort* dengan sistem pemanasan *Rocket Stove*. Teknologi Pirolisis ini menggunakan dua reaktor yang saling terhubung pada saluran gas pirolisisnya. Gas Pirolisis digunakan untuk sumber energi panas (*self heating*) yang dapat dikontrol penggunaannya melalui katup dan *gas holder*. Sistem teknologi ini memungkinkan gas pirolisis yang menjadi emisi digunakan sebagai sumber energi (*semi-autothermal*) sehingga lebih hemat energi. Selain itu, desain reaktor *rocket stove* memungkinkan panas merambat lebih merata dari bawah hingga bagian atas reaktor sehingga lebih efisien. Pemanfaatan blower hisap akan mempermudah penangkapan gas pirolisis dan memiliki kecenderungan berpengaruh pada proses pirolisis.

Penelitian ini difokuskan pada parameter yang karakteristik karbon aktif melalui proses pengarangan pirolisis briket serbuk kayu dengan variasi laju pemanasan dan laju hisap gas. Metode teknologi yang digunakan yakni *Twin Retort-Rocket StovePirolizer* untuk proses pirolisis diharapkan mampu mencapai suhu 500C, kedap udara dan meminimalisir asap, mempercepat proses, dan pemanasan yang lebih merata. Hasil penelitian akan mendukung implementasi pemanfaatan karbon dari limbah biomassa sebagai bahan baku karbon aktif adsorben penjernih air, filter air dan udara atau pemanfaatan karbon aktif lainnya. Teknologi proses konversi limbah serbuk kayu melalui proses yang lebih bersih dengan penerapan produksi bersih (*cleaner production*) sehingga diharapkan menjadi *trigger* untuk memunculkan industry dibidang pengolahan limbah menjadi produk karbon aktif. Dari hasil penelitian diharapkan diperoleh informasi karakteristik karbon dari pemanfaatan teknologi Twin Retort Pirolisis yang dapat menjadi bahan baku karbon aktif sebagai adsorben.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan proses pirolisis dengan alat pirolisis Twin Retort dengan laju hisap gas sederhana. Berikut ini gambar alat yang telah dirancang :



Gambar 1. Twin Retort Rocket Stove

Ukuran *Twin Retort* yang didesain yakni 200 liter dengan lubang rocket stove dengan diameter 6 inch. Bagian luar dilapis dengan glass wool dengan ketebalan 5cm melingkar pada retort. Lapisan glasswool kemudian ditutup plat aluminium. bagian output gas terhubung antara kedua retort dan ditarik atau dihisap dengan blower yang telah dimodifikasi khusus agar tidak rusak terkena gas panas (MN Aridito, MS Cahyono, 2019).

Burner didesain khusus dengan mampu mengonsumsi bahan bakar minyak plastik, oli, jelantah atau sejenisnya. Burner dibantu untuk pengabutan dengan kompresor silent 1 Hp 750 Watt dengan tekanan minimal 5 Bar. Proses pirolisis dilakukan dengan uji coba terlebih dahulu pada single retort dan dicoba dibakar gas pirolisisnya. Proses dilakukan selama 2 jam. Proses pengaturan laju pemanasan dengan katup pada burner dengan bukaan $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ dan bukaan penuh. Proses pengaturan laju hisap dengan katup pada pipa gas yakni $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, dan bukaan penuh. Peningkatan laju pemanasan diukur dengan thermometer dengan waktu tertentu hingga 500°C selama total proses waktu 2 jam. Data kemudian dicatat dan dikumpulkan untuk menjadi data proses laju pemanasan. Pada penelitian ini digunakan 9 variabel sampel. Untuk mempermudah analisis, maka dilakukan pengkodean sebagai berikut ini:

Tabel.1 Kode Sampel Penelitian

	Laju Panas 5°C/menit	Laju Panas 8°C/menit	Laju Panas 16°C/menit
Laju Hisap Rendah (Katup terbuka $\frac{1}{4}$)	A1	A2	A3
Laju Hisap Sedang (Katup terbuka $\frac{1}{2}$)	B1	B2	B3
Laju Hisap Tinggi (Katup Terbuka penuh)	C1	C2	C3

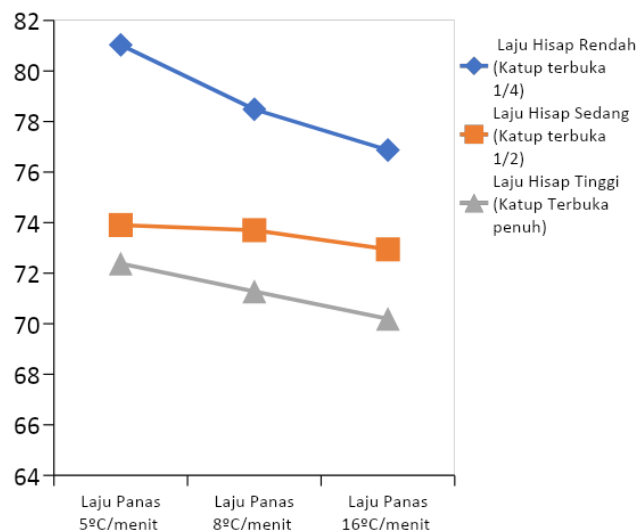
Hasil dari proses pirolisis dari sampel tersebut kemudian dilakukan pengujian laboratorium dengan parameter karbon terikat, zat terbang, kadar abu dan kadar air. Dari hasil uji laboratorium lalu dilakukan pembahasan dan komparasi dengan standar SNI Karbon Aktif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian menggunakan alat pirolisis twin retort dengan penambahan laju hisap gas yang telah didesain, diperoleh data yang menunjukkan karakteristik karbon arang meliputi Kadar Karbon Terikat (*Fixed Carbon*), Kadar Abu (*Ash Content*), Kadar Zat Terbang (*Volatile Matter*), dan Kadar Air (*Moisture Content*). Proses pirolisis merupakan proses pemecahan secara termal tanpa kehadiran oksigen/minim oksigen (Brown, Robert. 2012) (Chaurasia, A.S 2005). Karakteristik termal mempengaruhi hasil arang (Daud Patabang, 2012) sehingga dilakukan Variasi laju pemanasan dan laju hisap gas dalam proses ini dengan temperature puncak 500C dan lama proses 2 jam menunjukkan karakteristik sebagai berikut:

Kadar Karbon Terikat (Fixed Carbon)

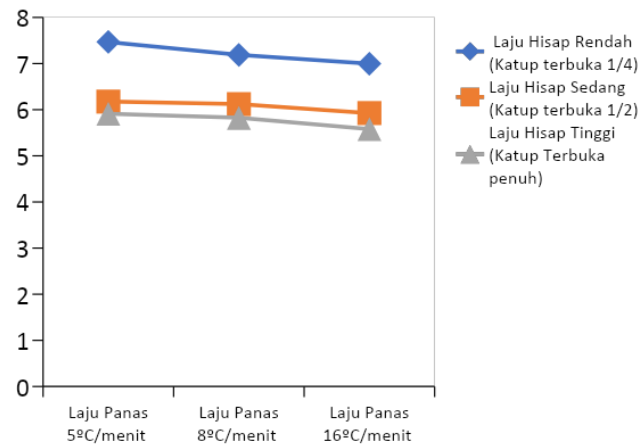
Kadar Karbon Terikat dari proses pirolisis briket serbuk kayu dengan Twin Retort selama 2 jam dengan suhu puncak 500C memiliki karakteristik Kadar karbon Terikat dari rentang 70,19 % hingga 81,03%. Pada Parameter ini, standar minimal SNI untuk kadar karbon terikat adalah 65% sehingga keseluruhan sampel telah memiliki karakteristik di atas standar SNI Karbon aktif untuk parameter ini. Kadar Karbon aktif yang tertinggi yakni 81,03% pada sampel dengan laju pemanasan terendah 5,67 C/menit dan laju hisap gas terendah dengan bukaan katup $\frac{1}{4}$. Kadar Karbon terikat terendah pada sampel dengan perlakuan laju panas tertinggi dan laju hisap tertinggi sebesar 70,19%. Secara umum terlihat kecenderungan semakin lambat laju pemanasan maka semakin tinggi kadar karbon terikatnya hal ini sesuai dengan riset yang dilakukan dan terlihat kecenderungan semakin tinggi laju hisap, kadar karbon terikat briket semakin rendah. Hal ini disebabkan oleh (As'ari (2011) dan Li Ang (2016).) Profil kadar karbon terikat terlihat pada grafik gambar di bawah ini:



Gambar 2 . Kadar Karbon Terikat Briket Arang Serbuk Kayu

Kadar Abu (Ash Content)

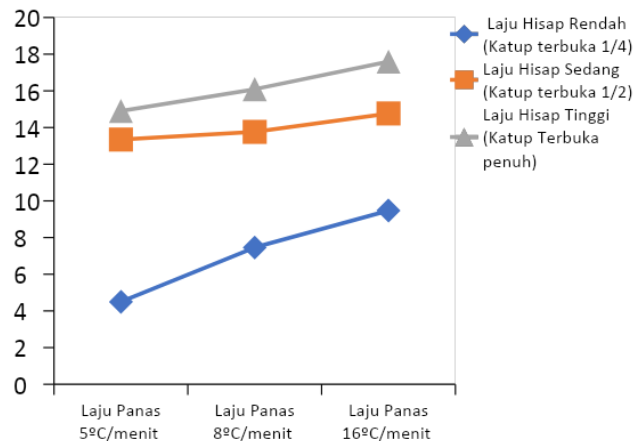
Kadar Abu briket arang tertinggi yakni pada briket arang dengan laju pemanasan terendah dan laju hisap gas terendah (bukaan katup $\frac{1}{4}$) sebesar 7,46%. Kadar Abu terendah yakni pada sample dengan perlakuan laju panas tertinggi dan laju hisap tertinggi yakni sebesar 5,57%. Secara umum terlihat kecenderungan semakin lambat laju pemanasan maka semakin tinggi nilai kalornya hal ini sesuai dengan riset yang dilakukan As'ari (2011) dan Li Ang (2016). dan terlihat kecenderungan semakin tinggi laju hisap, nilai kalor briket semakin rendah. Profil karakteristik kadar abu dapat dilihat pada gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Kadar Abu Briket Arang Serbuk Kayu

Kadar Zat Terbang (Volatile Matter)

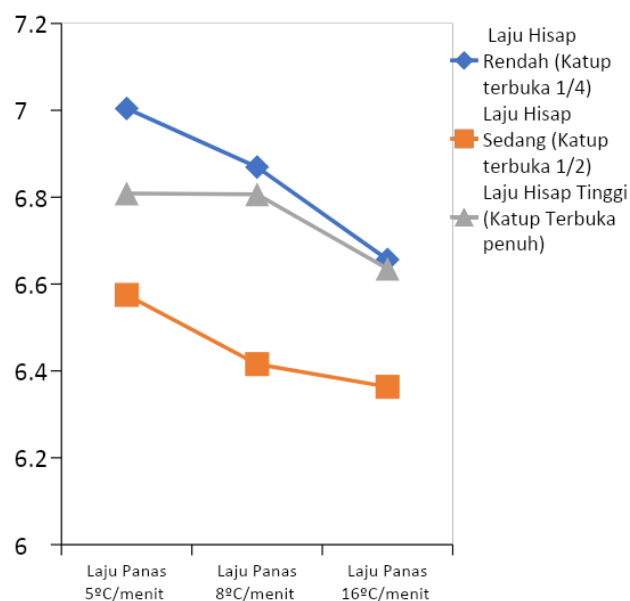
Karakteristik kadar zat terbang (volatile matter) pada proses ini menunjukkan Kadar Zat Terbang arang serbuk kayu tertinggi yakni pada briket arang dengan laju pemanasan terendah dan laju hisap gas terendah sebesar 17, 59%. Kadar Zat Terbang terendah yakni pada sample dengan perlakuan laju panas tertinggi dan laju hisap tertinggi yakni 4,49%. Secara umum terlihat kecenderungan semakin lambat laju pemanasan maka semakin tinggi kadar zat terbang. Profil kadar zat terbang (volatile matter) dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4 . Kadar zat Terbang Briket Arang Serbuk Kayu

Kadar Air (Moisture Content)

Karakteristik karbon arang hasil pirolisis serbuk kayu menunjukkan kadar Air arang karbon serbuk kayu tertinggi yakni pada sample dengan laju pemanasan terendah dan laju hisap gas Terendah (Bukaan katup 1/4) sebesar 7%. Kadar air terendah yakni pada sample dengan perlakuan laju panas tertinggi dan laju hisap sedang (bukaan katup 1/2) yakni 6.36%.



Gambar 5 . Kadar Air Briket Arang Serbuk Kayu

Pembahasan dan Diskusi

Berdasarkan hasil penelitian dan uji laboratorium, terdapat beberapa informasi yakni karakteristik arang dari pirolisis *twin retort rocket stove* dengan variasi laju pemanasan dan laju hisap gas. Kondisi operasi yang digunakan yakni proses pirolisis dengan kedap udara selama 2 jam dengan suhu puncak 500°C dan variasi laju pemanasan 5,67 °C/menit, 8,33 °C/menit dan 16,67 °C/menit serta laju hisap gas yakni rendah (bukaan katup 1/4), sedang (bukaan katup 1/2) dan tinggi (bukaan katup penuh) menunjukkan parameter Kadar karbon terikat, kadar abu,

kadar air, kadar zat terbang yang memenuhi standar SNI karbon aktif. Hal ini menunjukkan bahwa proses dengan kondisi operasi tersebut dapat digunakan untuk membantu proses konversi limbah biomassa serbuk kayu menjadi karbon (arang) yang memenuhi standar karbon aktif SNI untuk empat parameter yakni Kadar karbon terikat, kadar abu, kadar air, kadar zat terbang. Selain itu, produk arang juga dapat digunakan sebagai briket bioarang (Yudanta,Angga. 2013). Penggunaan laju hisap gas dapat mempercepat proses pengeluaran gas-gas pirolisis hasil pemecahan material biomassa sehingga mempermudah mendapatkan hasil yang memenuhi standar. Pada suhu proses 500 C dapat tercapai karakteristik yang memenuhi Standar SNI yang mana idealnya proses pembuatan karbon aktif dilakukan pada suhu 600C-800C selama 3 jam.

Dari hasil karakterisasi juga menunjukkan nilai tertinggi pada sample dengan laju pemanasan dan laju hisap gas terendah menghasilkan nilai kadar karbon terikat tertinggi dan kadar zat terbang terendah sehingga menghasilkan kualitas yang lebih baik. Kadar Zat terbang menunjukkan nilai tertinggi pada laju pemanasan dan laju hisap gas tertinggi sedangkan kadar air menunjukkan nilai tertinggi pada sample dengan laju panas terendah dan laju hisap terendah dan nilai terendah pada laju panas tertinggi namun laju hisap gas sedang (bukaan katup ½). Hal ini menunjukkan kecenderungan pada Pirolisis dengan temperatur puncak dan waktu proses yang sama yakni 500C dan 2 jam dengan Twin Retort menunjukkan kualitas terbaik dari kadar karbon terikat pada laju pemanasan dan laju hisap terendah. Berdasarkan penelitian E Ayuningtyas, MN Aridito (2019) Pirolisis Briket serbuk kayu dengan single retort rocket stove juga menunjukan pada suhu 500 C di dapatkan hasil karbon yang relatif baik dari 4 parameter tersebut sebagai bahan bakar dan karbon aktif.

Nilai yang diperoleh untuk hampir kesemua sample berada diatas standar SNI karbon aktif yakni Kadar Karbon Terikat diatas 65%, Kadar abu dibawah 15%, kadar air dibawah 10%, Kadar Zat terbang dibawah 25% . Laju pemanasan pada penelitian ini menunjukkan kecenderungan yang sama seperti penelitian yang dilakukan menurut As'ari (2011), pada proses pirolisis tempurung kelapa laju pemanasan yang lebih rendah menghasilkan fixed karbon yang lebih tinggi yang berkorelasi dengan nilai kalor arang yang lebih tinggi, juga kesamaan laju pemanasan dan karakteristik hasil pirolisis menurut Li Ang et al (2016) pada pirolisis pinewood, laju pemanasan yang lebih rendah cenderung menghasilkan nilai kalor yang lebih tinggi, walaupun tidak berbeda signifikan. Namun, menurut Chen, Dengyu et all (2016), terdapat korelasi antara laju pemanasan terhadap nilai kalor pada kenaikan suhu pirolisis dari 400C ke 500C, laju pemanasan yang lebih tinggi cenderung menghasilkan nilai kalor lebih tinggi dari rentang suhu 400C-500C. Pada penelitian ini hanya dibatasi pada suhu 500C. Pada tabel2. Terlihat komparasi anatar hasil proses pirolisis dengan standar SNI Karbon Aktif.

Tabel 2. Komparasi parameter dari sampel uji laboratorium terhadap standar SNI Karbon Aktif

No	Sampel	Parameter			
		Karbon terikat	Kadar Zat Terbang	Kadar Abu	Kadar Air
1	SNI	>65%	<25%	<10%	<15%
2	A1	81,03	4,49	7,47	7,04
3	A2	78,48	7,46	7,18	6,86
4	A3	76,87	9,47	6,99	6,63
5	B1	74,91	13,34	6,17	6,57
6	B2	73,7	13,76	6,12	6,41

7	B3	72,94	14,76	5,92	6,36
8	C1	72,38	14,9	5,91	6,8
9	C2	71,28	16,09	5,82	6,8
10	C3	70,19	17,59	5,57	6,65

Berdasarkan data tersebut diperoleh informasi yakni dari empat parameter karbon aktif yang diuji memiliki karakteristik memenuhi standar SNI melalui proses pirolisis dengan twin retort dengan laju pemanasan 5,67 C/menit – 16,67 C/menit dan Laju Hisap gas dengan bukan katup ¼ hingga penuh selama 2 jam dengan suhu puncak 500C. Hal ini menunjukkan bahwa proses pirolisis dengan metode dan kondisi operasional tersebut dapat digunakan dalam membantu proses konversi limbah biomassa serbuk kayu untuk penyiapan bahan baku karbon aktif dari serbuk kayu. Karbon aktif dari serbuk kayu dapat menjadi adsorben untuk berbagai keperluan, terutama untuk filtrasi dan penjernihan. Namun, untuk dapat diketahui secara lengkap diperlukan pengujian terhadap serapan iod pada proses dan metode ini sehingga diketahui proses lanjutan agar menjadi karbon aktif yang memenuhi seluruh parameter SNI.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh beberapa kesimpulan yakni:

1. Karakteristik Karbon (arang) serbuk kayu pada parameter Kadar Karbon Terikat, Kadar abu, kadar zat terbang, kadar air melalui proses pirolisis twin retort selama 2 jam dengan suhu puncak 500C dengan variasi laju pemanasan 5,67 C/menit – 16,67 C/menit dan laju hisap gas semua sampel memiliki standar melebihi SNI Karbon Aktif untuk keempat parameter tersebut, kondisi operasional dan metode tersebut dapat digunakan untuk konversi limbah biomassa serbuk kayu menjadi bahan baku karbon aktif untuk adsorben, namun perlu dilakukan pengujian lebih lanjut pada parameter serapan Iod.
2. Hasil karakteristik Karbon berdasarkan standar karbon aktif SNI untuk parameter Kadar Karbon Terikat, dan Kadar Zat Terbang dengan kualitas paling baik ditunjukkan pada sampel dengan laju pemanasan dan laju hisap gas terendah 81.03 % dan 4,49% sedangkan hasil karakteristik karbon dengan parameter kadar air terendah yakni pada sample B3 dengan laju pemanasan tertinggi dan laju hisap sedang sebesar 6,36% . Hasil karbon dengan kadar abu terendah pada sample C3 dengan laju pemanasan tertinggi dan laju hisap gas tinggi sebesar 5,57%

DAFTAR PUSTAKA

- As'ari, 2011., Pengaruh Slow Pirolisis pada Saat Karbonisasi Terhadap Kualitas Karbon Tempurung Kelapa” Jurnal Ilmiah Sains., Vol II No 2
- Brown, Robert. 2012. *Thermochemical processing of biomass conversion into Fuels, Chemical and Power*. United Kingdom : Willey
- Chaurasia, A.S dan B.V. Babu. 2005, *Modelling & simulation of pyrolysis of Biomass: Effect of Thermal Conductivity, Reactor Temperature and Particle Size on Product Concentration*, India : Pillani
- Dengyu Chen, et al. 2016 . Pyrolysis Polygeneration of pine nut shell : Quality of Pyrolysis Product and Study of Preparation of Activated Carbon from Biochar . Bioresource Technology Volume 216 , September 2016 , Pages 629 - 636

- Daud Patabang, 2012. Karakteristik Termal Briket Arang Serbuk Gergaji Kayu Meranti. Jurnal Teknik Mesin, Universitas Taduloka
- Djoko Purwanto, 2009. Analisa Jenis Limbah Kayu Pada Industri Pengolahan Kayu di Kalimantan Selatan. Jurnal Riset Industri Hasil Hutan Vol. 1 No.1 Juni 2009 14-20
- Endah Ayungtyas, MN Aridito 2019. Studi Karakteristik Proses Pirolisis dan Arang Briket Serbuk Kayu Dengan variasi laju Pemanasan menggunakan Metode Pirolisis Single Rocket Stove. Jurnal Rekayasa Lingkungan Jilid 19 terbitan 1
- Li Ang, et al. 2016. Effect of Temperature and Heating Rate on The Characteristic of Moulded Bio-Char. Journal of Bioresources 11(2) 3259-3274
- MN Aridito, MS Cahyono . 2019. Pengaruh Laju Pemanasan dan Laju Hisap Gas pada proses Pirolisis Twin Retort Rocket Stove terhadap karakteristik bioarang dari briket limbah serbuk kayu. Prosiding SENIATI 2019. Halaman 262-271. ITN Malang
- Syamsul Bahri. 2007. Pemanfaatan Limbah Industri Pengolahan Kayu untuk Pembuatan Briket Arang Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan di Nanggroe Aceh Darussalam . Thesis Magister Pengelolaan Sumber Daya Alam . Universitas Sumatra Utara
- Yudanta, Angga. 2013. Pembuatan Briket Bioarang dari arang serbuk gergaji kayu jati. Skripsi Universitas Diponegoro