Pengaruh Laju Pemanasan dan Laju Hisap Gas Pada Proses Pirolisis Twin Retort Rocket Stove Terhadap Karakteristik Bioarang dari Briket Limbah Serbuk Kayu

Muhammad Noviansyah Aridito [1)], Muhammad Sigit Cahyono [2)]

[1)]Teknik Lingkungan, Universitas Proklamasi 45
[2)]Teknik Perminyakan, Universitas Proklamasi 45
Jl. Proklamasi No.1 Babarsari, Sleman, Yogyakarta
Email : noviansyaharidito@yahoo.co.id

Abstrak. *Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengtahui karakteristik arang dari briket limbah serbuk kayu dengan variasi laju pemanasan dan laju hisap gas. Teknologi Pirolisis yang digunakan yakni Twin Retort Rocket Stove Pirolizer dimana gas pirolisis di gunakan kembali untuk proses pirolisi . 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).Penelitian dilakukan pada retort dengan suhu puncak 500C selama 120 menit. Hasil penelitian menunjukkan karakteristik briket arang serbuk kayu yakni Nilai Kalor, Kadar Karbon Terikat, Kadar Abu, tertinggi yakni pada sampel dengan laju pemanasan da laju hisap gas terendah yakni 7.331 kkal/kg, 81.03 %, 17,59%. Kadar Zat Terbang terendah yakni 4.49% pada sample dengan laju pemanasan laju hisap terendah. Kadar air terendah yakni 7% pada sample dengan laju pemansasan tertinggi dan laju hisap gas sedang. Terdapat kecenderungan yakni semakin rendah laju pemanasan dan laju hisap gas, nilai kalor, kadar karbon terikat, kadar abu, kadar air semakin tinggi sedangkan kadar zat terbang semakin rendah.*

***Kata kunci**: Limbah Serbuk Kayu, Briket Arang, Pirolisis,Twin Retort Rocket Stove, Laju Pemanasan*

1. Pendahuluan

Limbah serbuk kayu dihasilkan dari proses penggergajian kayu, proses kayu lapis, furniture dan industry terkait. Potensi limbah serbuk kayu dari industri kayu lapis, penggergajian, pengamplasan furniture sekitar 5,9%-10,4% dari Total Produksi Kayu (Dinas Kehutanan 2006) sedangkan produksi kayu lapis mencapaia 4 juta m pertahun dan penggergajian kayu 2,6 juta m per tahun. Potensi limbah serbuk kayu dapat diperkirakan minimal 200 ribu m3 per tahun.(Samsul Bahri,2007)

Untuk mengatasi dampak pencemaran nya, limbah serbuk kayu saat ini banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku briket arang biomassa. Hal ini didukung dari kebijakan pemerintah tentang pemenukan energy dari sumberdaya terbarukan sesuai dengan renstra EBT. Selain itu, pemanfaatan Limbah serbuk kayu (*Sawdust*) menjadi Briket Arang mendukung terwujudnya dari konsep *Waste to Energy* dan Pemenuhan energy baru terbarukan berbasis biomassa. Apalagi *trend* global saat ini mendorong penggunaan *renewable energy*.

Briket arang *sawdust* memiliki posisi strategis sebagai sumber energy terbarukan dan mengurangi pencemaran limbah sehingga memiliki *demand* yang cukup tinggi di pasar global. Indoneisa memiliki potensi biomassa yang melimpah sehingga saat ini mulai tumbuh pabrik briket *sawdust* dengan kapasitas produksi 10-20 Ton/hari. Namun, pada proses produksi Briket Arang *Sawdust* masih terdapat beberapa problematika yakni 1) Selalu ada produk *reject* karena rusak saat proses pengarangan sehingga menjadi limbah; 2) Penyusutan massa dan volume produk hasil pengarangan; 3) Lama Proses pengranagan sekitar 3 Hari; dan 4) Emisi gas saat proses pengarangan yang sering menimbulkan konflik sosial. Hal tersebut berdampak negatif dan merugikan secara ekonomi, lingkungan dan sosial sehingga dapat mengancam sustainabilitas produksi briket arang *sawdust*.

Gambar. 1 Briket Biomassa Limbah Serbuk Kayu (Sawdust) sebelum di Arang kan, di Pabrik Klaten (13 Ton/hari)

Gambar.2 Proses Ekstrusi/Pencetakan briket Biomassa

Salah satu standar fisik permintaan pasar global yakni briket arang *sawdust* harus tidak patah, retak ataupun berukuran kecil. Standar tersebut menyebabkan banyaknya produk reject/afkir yang pada akhirnya hanya menumpuk di gudang sebagai limbah padat kembali. Salah satu solusinya adalah mencetak kembali menjadi briket arang, namun karena membutuhkan biaya, waktu, tenaga dan bahan perekat tambahan menyebabkan sebagian besar pabrik enggan untuk memproses dengan cara tersebut.Pada proses pengaranagan saat ini menggunakan oven dan pembakaran banyak dijumpai produk yang hancur, menjadi abu, dan retak terutama pada bagian bawah oven dimana zona paling dekat dengan sumber panas. Waktu yang diperlukan untuk pengaranganpun cukup lama sekitar 3 hari dimana menghasilkan jeda waktu produksi. Selain itu, Asap pengarangan baik dari dalam oven maupun area bahan bakar kerap kali menjadi faktor penyebab konflik dan protes social sehingga terjadi penolakan masyarakat.

Untuk itulah diperlukan uji coba teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Teknologi yang diujicoba yakni *Twin Retort* dengan dikombinasikan 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 berpengaruh pada proses pengarangan briket arang sawdust yakni laju pemanasan dan laju hisap gas pirolisis. Penggunaan Teknologi *Twin Retort-Rocket StovePirolizer (TRRS Pirolizer)* untuk proses pirolisis diharapkan mampu meminimalir asap, mempercepat proses, dan pemanasan yang lebih merata sehingga diperlukan penelitian pada parameter yang berpengaruh terhadap proses dan produk. Hasil penelitian akan mendukung implementasi pemanfaatan teknologi untuk produksi bersih (*cleaner production*) sehingga diharapkan industry dibidang pengolahan limbah khususnya waste to energy dapat meminimalkan limbahnya bahkan diharapkan menuju *zero waste*. Selain itu, dari hasil penelitian diharapkan diperoleh informasi karakteristik produk dari pemanfaatan teknologi Twin Retort Pirolisis. Penerapan teknologi ini diharapkan dapat berdampak positif sebagai nilai tambah ekonomi, social dan lingkungan sehingga menjadi *Leverage Factor*/Faktor Pengungkit untuk menuju Pembangunan Berkelanjutan *(Sustainable Development*

2. Metode Penelitian

2.1 LokasiPenelitian

Penelitian dilakukan di Pusat Studi Energi dan Lingkungan (PSEL) Universitas Proklamasi 45 dan Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa , PAU UGM

2.2 Bahan Penelitian

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah Sampel Briket Biomassa Limbah Serbuk Kayu *(Sawdust)* yang diambil dari Pabrik Briket Biomassa kualitas ekspor kapasitas produksi 13Ton/Hari di Klaten,dengan pembelian melalui CV.Mulya Jaya. Air digunakan pada penelitian ini berfungsi untuk pendingin pada kondensor.

VariabelPenelitian

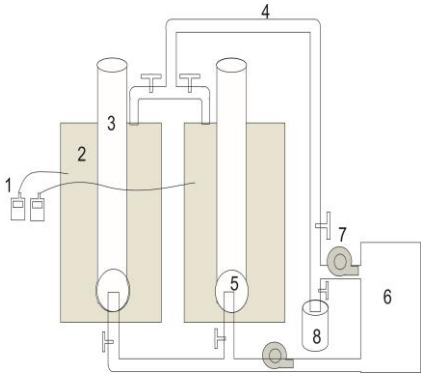
Variabel bebas pada penelitian ini adalah laju pemanasan dan laju hisap gas pirolisis dari briket biomassa. Variabel Bebas yakni Laju Pemanasan pada Laju 5,67 ºC/Menit, 8.33ºC/Menit dan 16,67ºC/Menit. Laju Hisap Gas Pirolisis yakni dengan control bukaan katup ¼, ½ dan bukaan penuh. Variabel Terikatnya yakni Karakteristik fisik dan kimia arang dan biooil. Karakteristik Briket Arang berupa Keretakan, penyusutan ukuran/volume, penyustan massa, *Gross Heating Value/Nilai Kalor*, *Fixed Carbon* dan *Ash Content*. Variabel Kontrol yang digunakan sebagai komparasi adalah sampel tanpa proses hisap gas pirolisis.

Tabel. 3.1 Variabel Bebas pada Penelitian

	Laju Panas 5,67ºC/menit	Laju Panas 8,33ºC/menit	Laju Panas 16,67ºC/menit
Laju Hisap Rendah (Katup terbuka 1/4)	A1	A2	A3
Laju Hisap Sedang (Katup terbuka 1/2)	A4	A5	A6
Laju Hisap Tinggi (Katup Terbuka penuh)	A7	A8	A9

2.3 Peralatanpenelitian

Skema Alat Penelitian Twin Retort-Rocket Stove Pirolizer



Keterangan :

1. Termokopel
2. Zona Pirolisis
3. Rocket Stove
4. Saluran Gas Pirolisis
5. Zona Pemanasan
6. Gas Holder
7. Blower
8. Penampung Tar

Gambar . Skema Alat Penelitian

3. Pembahasan

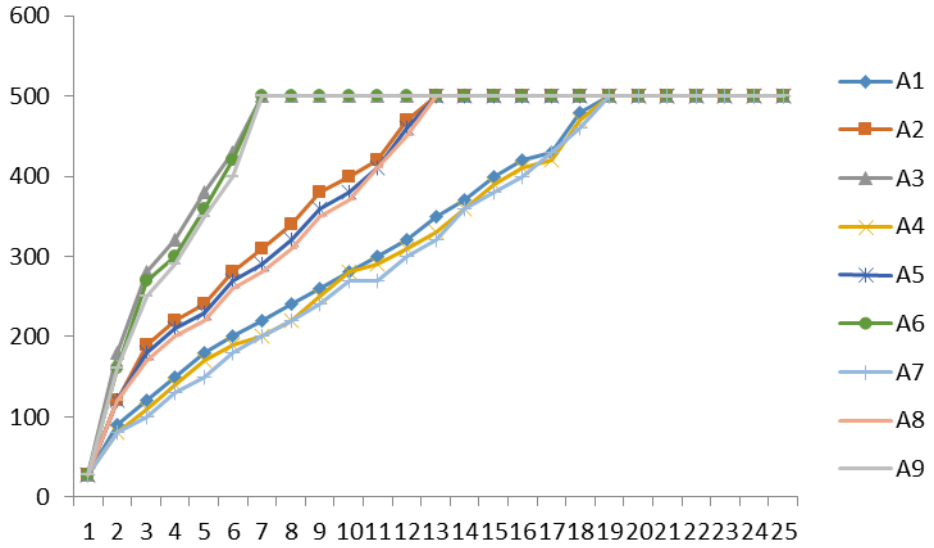
Berdasarkan hasil penelitian dan perancangan alat yakni telah didesain unit twin retort pirolisis dan diperoleh data yang menunjukkan bahwa terdapat pengaruh variasi laju pemanasan dan laju hisap gas dari proses pirolisis terhadap karakteristik arang meliputi Prodil suhu proses, Nilai Kalor (*Gross Heating Value*) , Kadar Karbon Terikar (*Fixed Carbon)*, Kadar Abu *(Ash Content*), Kadar Zat Terbang *(Volatile Matter*), dan Kadar Air *(Moisture Content)*. Berikut ini gambar alat yang telah dirancang :

ISSN 2085-4218
2 Februari 2019

Gambar 2. Twin Retort Rocket Stove

Ukuran twinretort 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 aluminum . bagian output gas terhubung antara kedua retort dan ditarik atau dihisap dengan blower yang telah di modifikas khusus agar tidak rusak terkena gas panas.

Burner di desain khusus dengan mampu mengkonsumsi bahan bakar minyak plastic , oli, jelantah atau sejenisnya. Burner di bantu 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 pirolisis nya. Proses dilakukan selama 2 jam. Proses pengaturan laju pemanasan dengan katup pada burner dengan bukaan katu ¼, ½ dan bukaan penuh. Proses pengaturan laju hisap dengan katup pada pipa gas yakni ¼, ½, dan bukaan penuh. Peningkatan laju pemanasan diukur dengan thermometer dengan waktu tertentu hingga 500C selama total proses waktu 2 jam. Data kemudian di catat dan dikumpulkan untuk menjadi data proses laju pemanasan. Pada penelitian ini digunakan 9 variabel sampel.

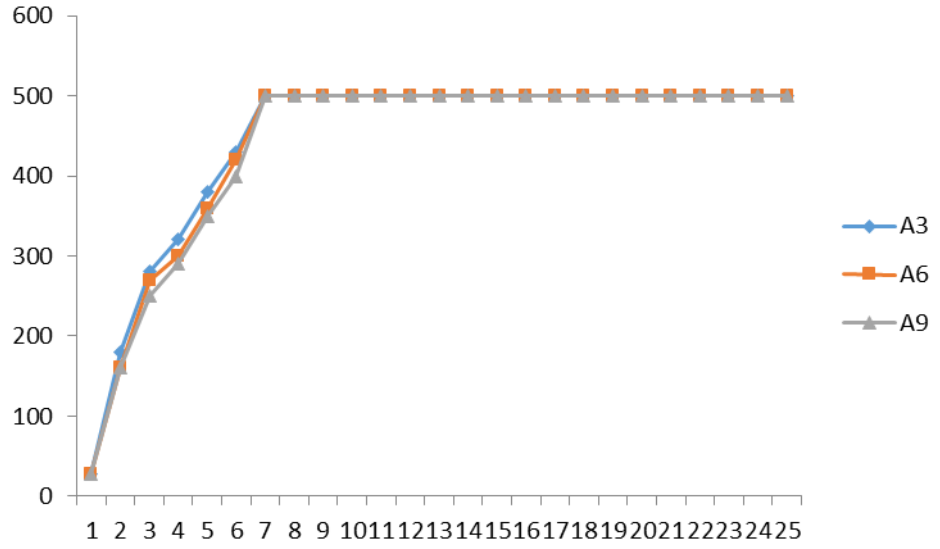


Gambar 3. Grafik Profil Suhu Proses

Berdasarkan karateristik proses pada temperature dalam satuan waktu maka secara umum menunjukkan pada laju pemanasan yang sama kenaikan suhu seperti pada kemiringan grafik , laju hisap yang lebih rendah cenderung memiliki peningkatan suhu yang lebih besar yang ditunjukkan pada kemiringan kurva grafik. Pada laju pemanasan yang sama yakni sampel A3 , A6, A9 dengan laju pemanasan tertinggi 16,67 C/menit, terlihat sampel A3 dengan laju hisap gas terendah memiliki

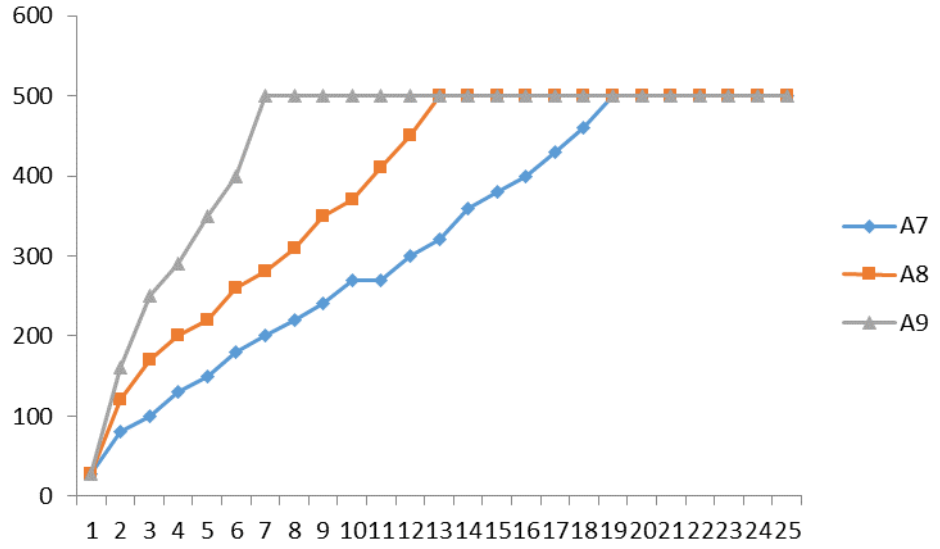
ISSN 2085-4218
2 Februari 2019

slope/kemiringan yang lebih curam dan A9 dengan laju hisap gas tertinggi lebih landai. Hal ini terkait dengan tekanan dalam reactor dimana pada sample A9 dengan laju hisap tertinggi cenderung lebih banyak gas yang terhisap. Implikasinya yakni dengan waktu yang sama, suhu pada laju pemanasan cenderung lebih rendah. Namun, secara umum tidak ada perbedaan yang signifikan sehingga dapat dikatan dengan laju pemanasan yang sama dan berbeda laju hisap gas memiliki trend kecenderungan garis yang sama (saling berdekatan) seperti pada grafik dibawah ini :



Grafik 4 . Profil Suhu pada laju hisap yang sama (laju hisap tinggi)

Berdasarkan data juga diperoleh informasi, pada laju hisap yang sama, maka lebih dipengaruhi oleh laju pemanasannya sehingga laju pemanasan yag lebih tinggi memiliki slope grafik yang lebih curam. Hal ini menunjukkan kecenderungan bahwa laju hisap tidak terlalu berpengaruh pada profil suhu proses. Secara jelas terlihat pada grafik dibawah ini :

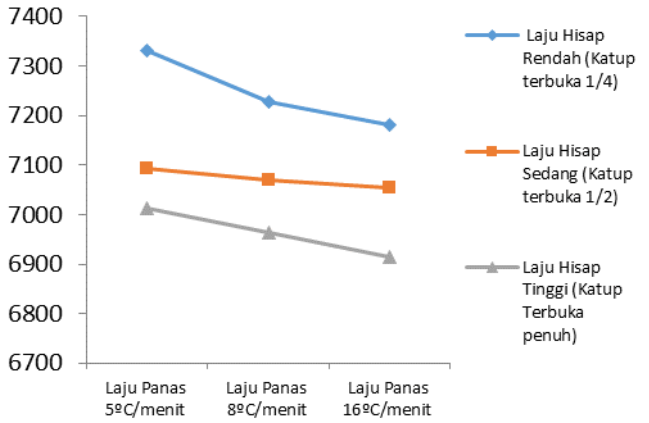


Gambar 5. Profil Suhu dengan Laju Hisap Gas yang sama (Laju Hisap tinggi)

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh informasi bahwa secara umum profil suhu memiliki kecenderungan kuat dipengaruhi oleh laju pemanasan. Laju hisap gas terlihat tidak terlalu signifikan memberikan pengaruh pada profil suhu pada masing-masing sampel.

2.2 Nilai Kalor (Gross Heating Value)

Berdasarkan hasil pirolisis dengan Twin Retort RS denga variasi laju pemasan dan laju hisap gas diperoleh data bahwa Nilai kalor briket arang tertinggi yakni pada briket arang dengan laju pemanasan terendah dan laju hisap gas dengan bukkan katup ¼ sebesar 7.331 kkal/kg. Nilai kalor terendah yakni pada sample dengan perlakukan laju panas tertinggi dan laju hisap tertinggi yakni sebesar 6.915 Kkal/kg. Secara umum terlihat kecenderungan semakin lambat laju pemanasan maka semakin tinggi nilai kalornya semakin tinggi, hal ini sesuai dengan riset yang dilakukan As'ari (2011) dan Li Ang (2016). Laju Hisap gas juga menunjukkan kecenderungan laju hisap gas yang lebih rendah menghasilkan karakertistik nilai kalor yang lebih tinggi

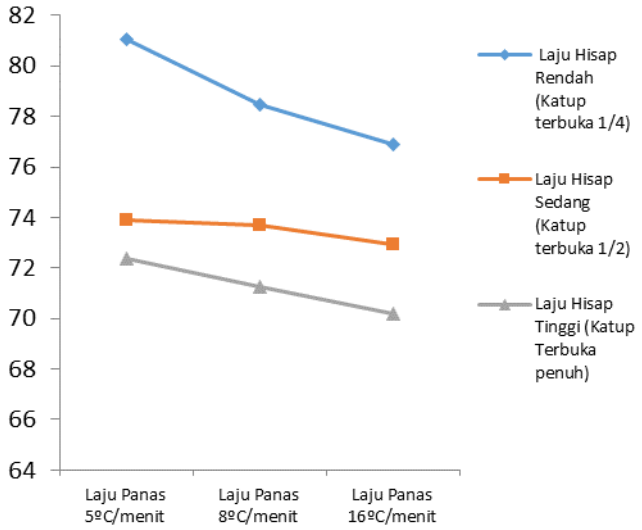


Gambar 6 . Nilai Kalor Briket Arang Serbuk Kayu

2.3 Kadar Karbon Terikat (Fixed Carbon)

Kadar Karbon Terikat dari briket arang tertinggi yakni pada briket arang dengan laju pemanasan terendah dan laju hisap gas terendah dengan bukaan katup ¼ sebesar 81.03%. Kadar Karbon terikat terendah yakni pada sample dengan perlakukan 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).)

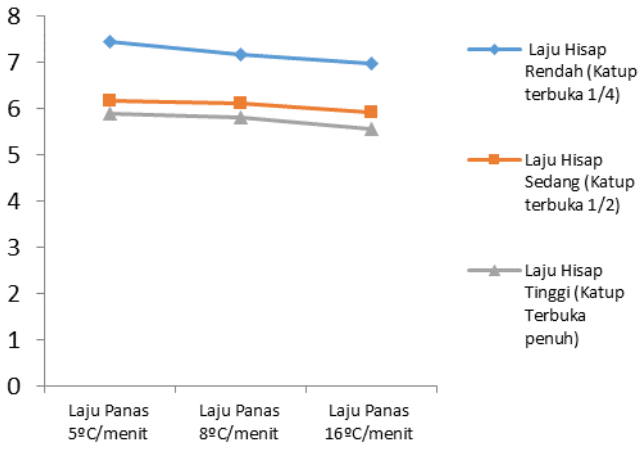
ISSN 2085-4218
2 Februari 2019



Gambar 7 . Kadar Karbon Terikat Briket Arang Serbuk Kayu

2.4 Kadar Abu (Ash Content)

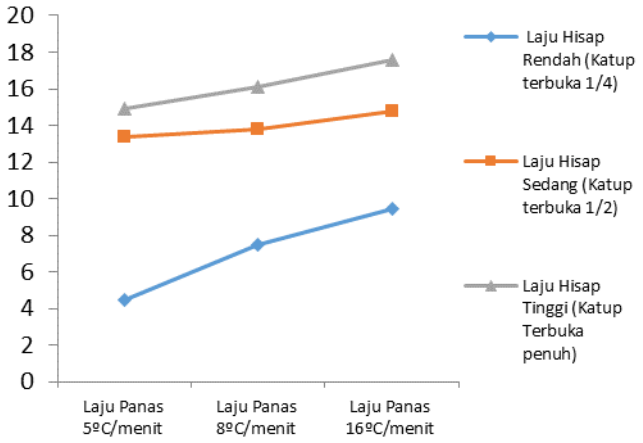
Kadar Abu briket arang tertinggi yakni pada briket arang dengan laju pemanasan terendah dan laju hisap gas terendah (bukaan katup ¼) sebesar 7,46%.Kadar Abu terendah yakni pada sample dengan perlakukan laju panas tertinggi dan laju hisap tertinggi yakni sebesar 5,57%. Secara umum terlihat kecenderungan 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.



Gambar 8. Kadar Karbon Terikat Briket Arang Serbuk Kayu

2.5 Kadar Zat Terbang (Volatile Matter)

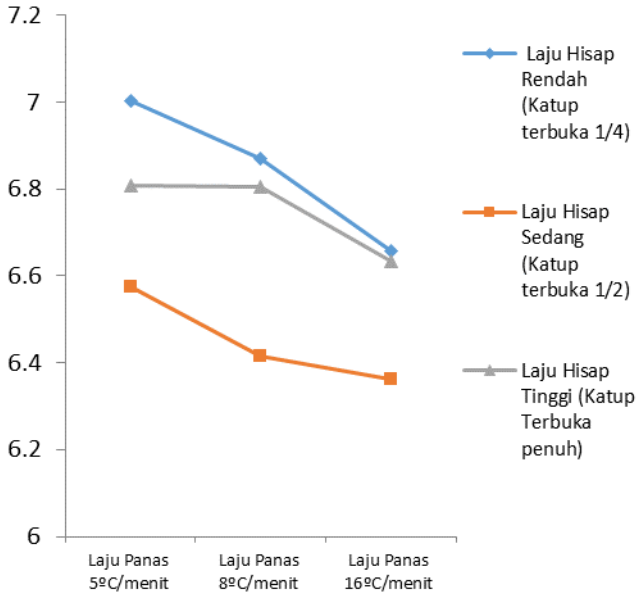
Kadar Zat Terbang briket arang tertinggi yakni pada briket arang dengan laju pemanasan terendah dan laju hisap gas terendah sebesar 17, 59%. Kadar Zat Terbang terendah yakni pada sample dengan perlakukan laju panas tertinggi dan laju hisap tertinggi yakni 4,49%. Secara umum terlihat kecenderungan semakin lambat laju pemanasan maka semakin tinggi kadat zat terbang .



Gambar 9 . Kadar Karbon Terikat Briket Arang Serbuk Kayu

2.6 Kadar Air (Moisture Content)

Kadar Air briket arang tertinggi yakni pada briket arang dengan laju pemanasan terendah dan laju hisap gas Terendah(Bukaan katup ¼) sebesar 7%. Kadar air terendah yakni pada sample dengan perlakukan laju panas tertinggi dan laju hisap sedaang (bukkaan katup ½) yakni 6.3%.



Gambar 10 . Kadar Karbon Terikat Briket Arang Serbuk Kayu

2.7 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. Nilai kalor, kadar karbon terikat, kadar abu menunjukkan nilai tertinggi pada sample dengan laju pemanasan dan laju hisap gas terendah. 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 terndah 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 temperatut puncak dan waktu proses yang sama yakni 500C dan 120 menit dengan Twin Retort RS menunjukkan kualitas terbaik dari nilai kalor, kadar karbon terikat dan pada laju pemanasan dan laju hisap terendah.

Nilai yang diperoleh untuk hampir kesemua sample berada pada standar SNI Briket Arang yakni nilai kalor diatas 5000 kkal/kg, kadar abu maksimal 15%, kadar air maksimal 8%, Kadar Zat terbang

maksimal 15% dan terdapat dua sample yang memilki kadar di atas 15% yakni dengan laju pemanasan sedang dan tinggi dengan laju hisap gas tinggi.. Sedangkan kadar karbon Terikat minimal 72%, terdapat dua sampel yakni pada sampel dengan laju pemanasan sedang dengan laju hisap tinggi dan laju panas tinggi dengan laju hisap tinggi. Namun, yang menjadi catatan yakni secara fisik briket arang sawdust, pada laju pemanasan yang semakin tinggi dan laju hisap gas semakin tinggi akan menghasilkan retakan briket arang yang lebih banyak dan besar.

Pengaruh 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, et al (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.

Tabel 2. Komparasi parameter dari sampel uji laboratorium terhadap standar briket arang

No	Sifat	Jepang	Amerika	Inggris	Indonesia
1.	Kadar Air (%)	Semua Sample	Semua Sample	Tidak ada	Semua Sample
2.	Kadar Abu (%)	A6, A7,A8,A9	Semua Sample	A8, A9	A9
3.	Kadar Zat Menguap/terbang (%)	A8,A9	Semua Sample	Kecuali A9	Kecuali A9
4.	Kadar Karbon terikat (%)	Semua Sample	Semua Sample	A1,A2,A3	A1,A2
5.	Nilai Kalor (kal/g)	Semua Sample	Semua Sample	A1,A2,A3	Semua Sample
6.	Sample Optimal	A8,A9	Semua Sample	Perlu Treatment tambahan,	Perlu Treatment tambahan

Berdasarkan data tersebut diperoleh informasi yakni dari semua parameter maka untuk standar briket jepang pada sampel A8 dan A9 yang memenuhi standar yakni pada proses laju pemanasan sedang dan tinggi dengan laju hisap tertinggi. Berdasarkan data tersebut, semua sample dapat memenuhi standar Briket Amerika. Namun, untuk standar briket Inggris dan Indonesia justru membutuhkan treatment tambahan khususnya untuk peningkatan kualitas poada kadar air, kadar abu, dan kadar zat terbang

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh beberapa kesimpulan yakni:

1. Nilai Kalor, Kadar Karbon Terikat, dan Kadar Abu, dan kadar air tertinggi yakni pada sampel dengan laju pemanasan da laju hisap gas terendah yakni 7.331 kkal/kg, 81.03 %, 7%.
2. Kadar Zat Terbang terendah yakni 4.49% pada sample dengan laju pemanasan laju hisap terendah. Kadar air terendah yakni pada sample dengan laju pemansasan tertinggi dan laju hisap gas sedang.
3. Terdapat kecenderungan bahwa semakin rendah laju pemanasan dan laju hisap gas, nilai kalor, kadar karbon terikat, kadar abu, kadar air semakin tinggi dan kadar zat terbang semakin rendah.

4. Berdasarkan komparasi sample yang telah diuji lab dan standar briket arang serbuk kayu, maka keseluruhan sampel memnuhi standar briket amerika,namun untuk memenuhi standar briket jepang hanya sample dengan kode A8 da A9, sedangkan untuk memenuhi stadar briket inggris dan indonesia diperlukan treatment tambahan khususnya untuk peningkatan kualitas poada kadar air, kadar abu, dan kadar zat terbang

Ucapan Terima Kasih
Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kementerian Ristek dikti yang telah membiayai kegiatan ini melalui skema Penelitian Dosen Pemula Tahun 2018

Daftar Pustaka

[1]. As'ari, 2011., Pengaruh Slow Pirolisis pada Saat Karbonisasi Terhadap Kualitas Karbon Tempurung Kelapa" Jurnal Ilmiah Sains., Vol II No 2
[2]. 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
[3]. Basri, Syamsul. 2007. Pemanfaatan Limbah Industri Pengolahan Kayu untuk Pembuatan Briket Arang Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan di Nanggroe Aceh Darussalam
[4]. Besler, S., dan William, P.T., 2014. The Influence og Temperature and Heating Rate on Slow Pyrolysis of Biomass". *Journal of Renewable Energy*. 7,233-250
[5]. Brown, Robert. 2012. *Thermochemical processing of biomass conversion into Fuels,Chemical and Power*. United Kingdom : Willey
[6]. 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
[7]. Clark,James dan Macquarrie, Duncan. 2012. *Handbook of Green Chemistry&Technology*. United Kingdom : Blackwell Publishing
[8]. Danang, Dwisaputro dkk, 2012. Karakterisasi Briket Dari Limbah Pengolahan Kayu Sengon Dengan Metode Cetak Panas. Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains Dan Teknologi Periode III
[9]. Daud Patabang,2012. Karakteristik Termal Briket Arang Serbuk Gergaji Kayu Meranti. Jurnal Teknik Mesin, Universitas Taduloka
[10]. Emi Erawati dkk, 2015. Pengaruh Waktu dan Kecepatan Pengadukan Pada Distilasi Asap Cair Hasil Pirolisis Limbah Serbuk Gergaji Kayu. Seminar Nasional Teknologi Kimia, Industri dan Informasi II
[11]. Hookway, James. 2011. The Hookway Charcoal Retort.
[12]. Klass, Donald. 1998. *Biomass for Renewable energy, fuels and chemicals*. California: Academic press
[13]. Lopez,A., de Marco, I., Laresgoiti, M.F., Adrados, A., 2011. "Influence of Time and Temperature on Pyrolysis of Plastic Wastes in Semi-Batch Reactor" *Chemical Engineering Journal*. 173, 62-71.
[14]. Oumingaa, S.k., Rogaume, T., Sougouti, M., Commandre, J.M., Koulidiati,J., 2009. "Experimental characterization of gaseous species emitted by the fast pyrolysis of biomass and polyethylene". *Journal of Analytic and Applied Pyrolysis* 86. 260-268
[15]. Purwanti, Ani dan Sumarni, 2008, "Kinetika Reaksi Pirolisis Low Density Polietilena" .*Jurnal Teknologi Vol. 1, No. 2*., Desember 135-140.
[16]. Ramadhan, M.A.A., 2014. *Pengaruh Variasi Suhu PAda Yield Minyak Hasil Pirolisis Plastik*, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada : Yogyakarta
[17]. Surono, Budi Untoro. 2010. Peningkatan Kualitas Pembakaran Biomassa Limbah Tongkol Jagung sebagai Bahan Bakar Alternatif dengan Proses Karbonisasi dan Pembriketan. Jurna Teknik Mesin Universitas Janabadra.
[18]. William, P.T . 1994. "Analysis and Application of Pyrolysis". *Journal of Renewable Energy* 29, 111-128
[19]. Yudanta,Angga. 2013. Pembuatan Briket Bioarang dari arang serbuk gergaji kayu jati. Skripsi Universitas Diponegoro.