

OPTIMASI KUALITAS PEMBAKARAN BRIKET CHAR PRODUK PYROLYSIS LIMBAH PLASTIK MELALUI PENGAJIAN ULTIMATE DAN EFEK POROSITAS

Sutoyo¹, M Imron Rosyidi²

^{1,2} Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Magelang
Kampus II Jl. Mayjend Bambang Sugeng Km.5 Mertoyudan Magelang Jawa Tengah
Email: ummsmart6@gmail.com

Abstrak

Pengolahan limbah plastik menjadi bahan bakar dalam konsep *Waste to Energy* merupakan teknologi yang mulai memasyarakat dengan metode pirolisis. Selain bahan bakar cair sebagai produk utama, yang dihasilkan dari metode di atas adalah padatan dan *non-condensable gas*. Secara umum gas sisa tersebut langsung dibakar, sedangkan padatan dapat diolah menjadi bahan bakar padat (briket char). Untuk mengolah padatan menjadi char (*fixed carbon+ash*) maka harus dilakukan proses awal untuk menghilangkan *moisture* dan mereduksi kadar *volatile matter*. Meskipun *volatile* merupakan bahan bakar tetapi kadar yang besar mengindikasikan proses pirolisis yang belum baik, selain itu dalam aplikasi pembakaran akan menimbulkan jelaga. Penelitian awal telah menghasilkan data pengujian kualitas pembakaran 8 sampel briket dari 13 sampel char yang diperoleh melalui *pyrolysis* bahan plastik *polyethylene* dengan variasi temperatur operasi antara 450-500 °C, serta variasi massa dan jenis katalis *Zeolite Y* dan *Natural Zeolite*. Selain itu variasi juga dilakukan dengan pencampuran bahan PE tersebut dengan jenis *Polystyrene*, *Polypropylene*, *Polyethylene Terephthalate*, dan *Other*. Karakteristik char diketahui melalui *proximate test* meliputi *moisture content*, *ash*, *volatile matter*, dan *fixed carbon*, nilai kalor diuji melalui *bomb calorimeter*. Kualitas pembakaran diuji dalam *furnace* dengan temperatur dinding $\pm 230^{\circ}\text{C}$ dan aliran udara konstan 0,7 m/s, serta diukur kadar emisinya. Permasalahannya adalah dalam aplikasi diketahui bahwa pembakaran briket tidak optimal, ditandai periode pemanasan yang lama, serta kadar CO yang bervariasi. Oleh karena itu perlu dilakukan upaya optimasi kualitas pembakaran yang akan dianalisa melalui pengujian *ultimate* dan efek porositas.

Kata kunci : *pirolisis, char, ultimate, proximate, porosity*

Pendahuluan

Konsep daur ulang plastik (*recycling of plastic wastes*) selanjutnya merupakan metode yang banyak dipilih oleh karena limbah plastik dianggap bahan baku yang murah dan melimpah. Pengolahan menjadi minyak sebagai bahan bakar cair merupakan salah satu cara yang menarik untuk menghasilkan sumber energi sekaligus meningkatkan kualitas penanganan limbah plastik tersebut. Teknik *recycle* yang populer dalam pengolahan plastik menjadi bahan bakar cair adalah dengan cara pirolisis. Pirolisis merupakan *chemical decomposition* dan *thermal decomposition* dari molekul pada kondisi tanpa oksigen. Produk pirolisis plastik sebenarnya tidak hanya menghasilkan minyak, ada hasil lain yaitu berupa gas yang tak terkondensasi (*non-condensable gas*), beberapa persen endapan lunak (*wax*), dan sisanya adalah arang (*char*). Persentase dari masing-masing produk pirolisis tersebut tergantung oleh beberapa faktor diantaranya temperatur dari reaktor, penggunaan reformer dan jenis katalis.

Pemanfaatan pirolisis plastik sampai saat ini lebih diutamakan pada penggunaan produk bahan bakar cairnya untuk diproses lanjut menjadi beberapa jenis bahan bakar minyak (BBM). Pada umumnya hasil sampingan berupa *non-condensable gas* dan *char* belum diolah untuk dimanfaatkan dengan baik. Gas-gas tak terkondensasi tersebut sebenarnya masih dapat dimanfaatkan misalnya untuk membantu memanaskan reaktor, atau diproses untuk mendapatkan senyawa-senyawa yang bermanfaat. Begitu juga *char* yang memiliki kadar karbon tinggi memungkinkan diolah menjadi bahan bakar selain dapat juga digunakan sebagai pupuk (*biochar*). Jika dibandingkan dengan produk berupa gas, maka *char* adalah produk yang lebih mudah diolah serta disimpan sebagai cadangan bahan bakar. Dalam proses pirolisis plastik seperti disebutkan pada uraian sebelumnya terdapat beberapa faktor yang berpengaruh terhadap produk yang dihasilkan. Variasi pada pengaturan temperatur reaktor dapat berpengaruh terhadap volume *char*, gas, dan bahan bakar cair yang dihasilkan. Semakin tinggi temperatur reaktor maka berakibat semakin banyak minyak yang dihasilkan dan sedikit *char*, tetapi jika temperatur terlalu tinggi maka

minyak akan berkurang dan produk gas semakin meningkat. Sebaliknya persentase *char* dan padatan akan lebih banyak pada temperatur operasi reaktor yang lebih rendah. Begitu pula penggunaan katalis yang mempengaruhi karakter dari jenis-jenis senyawa yang terbentuk selama proses.

Aplikasi teknik pirolisis ini tentu saja tidak semata-mata ditujukan pada produksi bahan bakar cair yang lebih banyak, akan tetapi potensi yang terkandung pada hasil sampingan juga perlu mendapatkan perhatian. *Char* adalah hasil yang mudah diproses daripada produk yang berupa gas, meskipun merupakan jumlah yang sangat kecil akan tetapi memiliki potensi untuk diolah lebih lanjut menjadi sumber energi. Kandungan unsur kimia di dalamnya sebagian besar adalah karbon (*solid carbon*) sehingga sangat memungkinkan untuk mengolahnya ke dalam bentuk bahan bakar padat (briket). Sesuatu yang akan menjadi pertanyaan adalah mengenai performa briket tersebut jika digunakan sebagai bahan bakar. Penelitian awal telah menghasilkan data pengujian kualitas pembakaran 8 sampel briket dari 13 sampel *char* yang diperoleh melalui pyrolysis bahan plastik *polyethylene* dengan variasi temperatur operasi antara 450-500 °C, serta variasi massa dan jenis katalis *Zeolite Y* dan *Natural Zeolite*. Selain itu variasi juga dilakukan dengan pencampuran bahan PE tersebut dengan jenis *Polystyrene*, *Polypropylene*, *Polyethylene Terephthalate*, dan *Other*. Karakteristik *char* diketahui melalui *proximate test* meliputi *moisture content*, *ash*, *volatile matter*, dan *fixed carbon*, nilai kalor diuji melalui *bomb calorimeter*. Kualitas pembakaran diuji dalam *furnace* dengan temperatur dinding ± 230°C dan aliran udara konstan 0,7 m/s, serta diukur kadar emisinya. Permasalahannya adalah dalam aplikasi diketahui bahwa pembakaran briket tidak optimal, ditandai periode pemanasan yang lama, serta kadar CO yang bervariasi. Oleh karena itu perlu dilakukan upaya optimasi kualitas pembakaran yang akan dianalisa melalui pengujian *ultimate* dan efek porositas.

Bahan dan Metode Penelitian

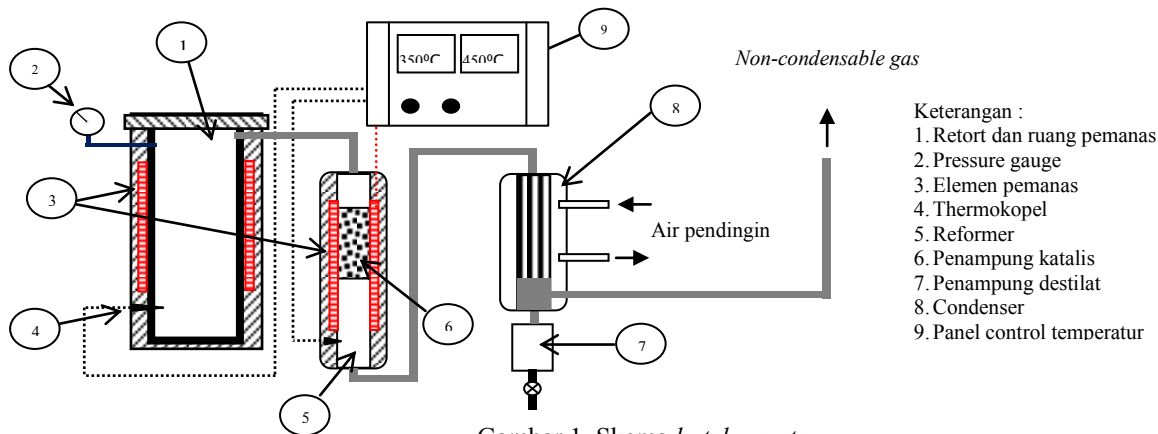
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 13 sampel *char* hasil pirolisis sampah plastik dengan beberapa variasi perlakuan selama proses berlangsung. Variasi dalam proses meliputi temperatur reaktor, jenis dan komposisi bahan baku, serta penggunaan katalis (Tabel 1).

Tabel 1. Variasi perlakuan pada proses pirolisis sampah plastik

No Sampel	Bahan	Komposisi (%)	Temperatur Operasi (°C)	Katalis	Berat Katalis (gram)
1	PE	100	450	Natural Zeolite	300
2	PE	100	500	Natural Zeolite	100
3	PE+other	50-50	450	Natural Zeolite	100
4	PE	100	450	Tanpa katalis	0
5	PE	100	450	Zeolite Y	100
6	PE+PS	50-50	450	Natural Zeolite	100
7	PE+PS+other	50-25-25	450	Natural Zeolite	100
8	PE	100	450	Natural Zeolite	400
9	PE+PP+PS	50-40-10	450	Natural Zeolite	300
10	PE+PP+PET+PS+other	50-30-10-5-5	500	Natural Zeolite	300
11	PE*	100	450	Natural Zeolite	100
12	PP+ PE	40-60	450	Natural Zeolite	300
13	PE	100	450	Natural Zeolite	200

*) PE kantong plastik (bag)

Reaktor yang digunakan untuk proses pirolisis merupakan jenis *batch reactor* dengan konsep *slow pyrolysis* seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Proses pirolisis yang dilakukan ditujukan untuk menghasilkan produk utama bahan bakar cair, sehingga setiap proses akan dihentikan jika cairan sudah diketahui sangat sedikit terproduksi meskipun produk gas masih mungkin dihasilkan. Perilaku selama proses tersebut diprediksi akan mempengaruhi karakter *char*.



Gambar 1. Skema *batch reactor*

Reaktor pirolisis (Gambar 1) yang digunakan tersebut berada di laboratorium Konversi Energi Fakultas Teknik UGM. Pada pengujiannya *char* akan diuji *proximate* yang dilakukan di Laboratorium PSPG PAU UGM. Khusus.

a. Pengujian kadar air (*moisture content*)

Dengan mengacu pada ASTM D 3137-03 maka sampel akan dipanaskan selama 1 jam dengan temperatur 107°C. Berdasarkan referensi FAO (1993) maka sampel awal (M_1) dipanaskan dalam oven pengering sampai tidak ada lagi perubahan massa (M_e), selanjutnya *moisture content* (m) dapat dihitung dengan Persamaan 1.

$$m = \frac{M_1 - M_e}{M_e} \times 100\% \tag{1}$$

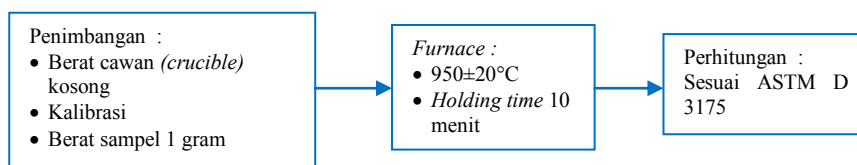
b. Pengujian *Volatile matter*

Pengujian *volatile* melalui tahapan proses seperti ditunjukkan Gambar 2 di bawah ini. Pada tahapan tersebut sampel 1 gram dipanaskan hingga mencapai temperatur 950±20°C dengan *holding time* 10 menit. Kondisi *furnace* tanpa oksigen, biasanya dialirkan gas *nitrogen* atau *helium* yang bersifat stabil dan tidak mudah bereaksi dengan sampel. Rumus perhitungannya sesuai standar ASTM D 3175 dapat dilihat pada Persamaan 2 dan 3 berikut ini.

$$C = [(A - B)/A] \times 100\% \tag{2}$$

$$\text{volatile matter (\%)} = C - D \tag{3}$$

Keterangan dari persamaan di atas, A adalah berat sampel dalam gram, B merupakan berat sampel setelah pemanasan dalam gram, dan C adalah berat yang hilang dalam persen (%). D merupakan *moisture content* dalam persen yang didapatkan pada pengujian sebelumnya.



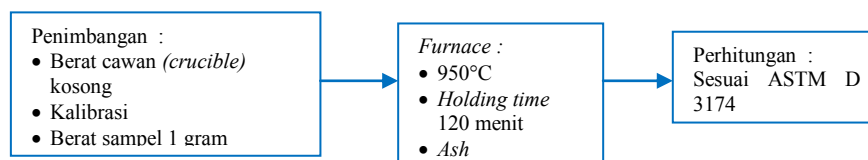
Gambar 2. Langkah pengujian *volatile matter*

c. Pengujian abu (*ash*)

Pengujian kadar abu ditunjukkan pada Gambar 3. Sampel 1 gram akan dipanaskan hingga mencapai temperatur 750°C dengan laju pemanasan 3,3°C/menit dan *holding time* 120 menit. Rumus perhitungannya sesuai standar ASTM D 3174 dapat dilihat pada Persamaan 4 berikut ini.

$$\text{ash (\%)} = [(A - B)/C] \times 100\% \tag{4}$$

Keterangan dari persamaan di atas, A adalah berat abu dan cawan dalam gram, B merupakan berat cawan kosong dalam gram, dan C adalah berat sampel awal dalam gram.



Gambar 3. Langkah pengujian kadar abu

d. Perhitungan *fixed carbon*

Setelah kadar air, kadar abu, dan *volatile matter* diketahui maka dapat dihitung kandungan *fixed carbon* melalui standar ASTM D3172 seperti disajikan pada Persamaan 5 di bawah ini.

$$\text{fixed carbon (\%)} = 100\% - [\text{moisture content (\%)} + \text{ash (\%)} + \text{volatile matter (\%)}] \tag{5}$$

e. Nilai kalor

Pengujian nilai kalor akan mengacu pada standar ASTM 2015, digunakan peralatan bomb calorimeter.

f. Uji Ultimate

Uji ultimate untuk mengetahui kadar C,H,O,N,dan S akan dilakukan di Lab PSPG PAU atau Lab Kimia lainnya yang mendukung. Jika penelitian telah menggunakan metode bomb calorimeter maka uji ultimate tidak dilakukan.

g. Uji Porositas

Untuk mengetahui porositas maka akan sebelumnya dilakukan pengujian ukuran partikel *char* dalam briket.

Briket yang akan dibuat merupakan produk dengan bahan baku *char* hasil pirolis limbah plastik tanpa campuran dengan bahan karbon yang lain. Pada tahapan pembuatan akan ditentukan ukuran partikel *char* pada satu

acuan penyaring yang memiliki ukuran direncanakan 100 mesh, dan variasi ukuran lain Tekanan pengepresan briket akan dicoba pada tekanan kira-kira 200 kg/cm² untuk diuji dengan konsep *IRI*, dan jika kekuatan produk briket tidak sesuai harapan maka akan dilakukan pengepresan tekanan rendah dengan penambahan pengikat (*binder*). Pengujian yang akan dilakukan selain *impact resistance index* adalah karakteristik pembakaran dan emisi pembakarannya.

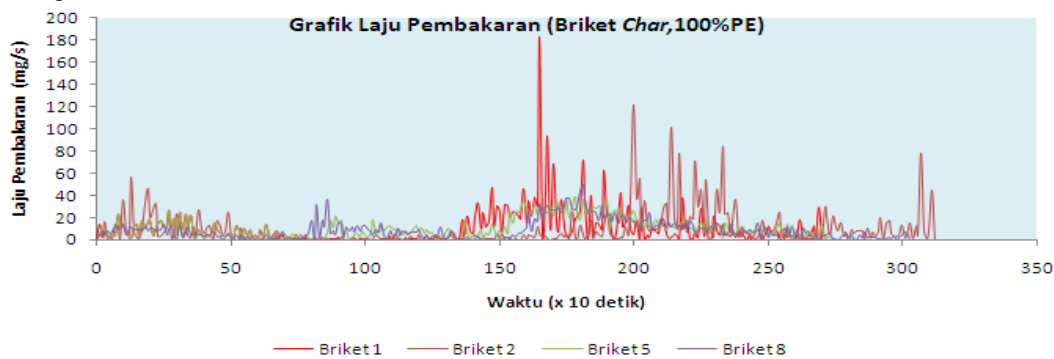
Hasil dan Pembahasan

Karakteristik *char* yang diketahui melalui uji *proximate*, telah memperlihatkan data yang bervariasi seperti tersaji dalam Tabel 2. Data tersebut menunjukkan bahwa masing-masing sampel *char* memiliki perbandingan antara kadar abu (*ash*), *moisture*, *volatile*, dan kadar *fixed carbon* pada persentase yang berbeda-beda.

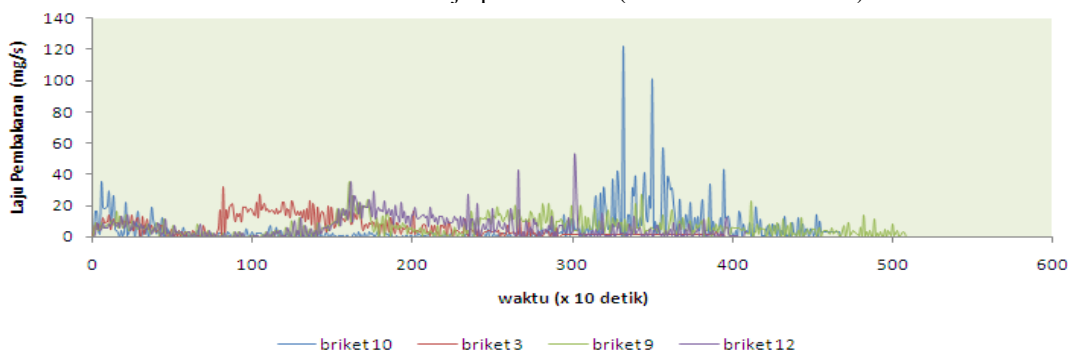
Tabel 2. Hasil Uji *Proximate*

No. Sampel	UJI PROXIMATE				
	Nilai Kalor (Kalori/gr)	Abu (%)	Air (%)	Volatile (%)	Fixed Carbon (%)
I.	6562,852	23,577	5,808	55,460	15,155
II.	3840,142	41,059	9,284	24,681	24,976
III.	4229,475	36,508	4,689	6,238	52,565
IV.	6538,229	25,019	6,743	49,787	18,451
V.	7583,171	21,577	4,712	60,942	12,769
VI.	7525,232	22,033	4,399	63,672	9,896
VII.	7124,590	22,550	2,524	49,378	25,548
VIII.	4128,476	38,346	6,020	24,727	30,907
IX.	4216,112	29,503	10,369	17,128	43,000
X.	4263,257	32,526	7,173	10,947	49,354
XI.	7531,748	19,774	1,995	64,594	13,637
XII.	3575,075	39,765	10,354	13,204	36,677
XIII.	7169,702	22,645	5,512	60,321	11,522

Karakteristik pembakaran briket akan dianalisa melalui data grafik laju pembakaran. Data pembakaran untuk *char* dari bahan 100% PE dapat dilihat pada Gambar 4 dan Tabel 3, sedangkan untuk *char* dari bahan campuran dapat dilihat pada Gambar 5 dan Tabel 4.



Gambar 4. Grafik laju pembakaran (Briket *char* 100% PE)



Gambar 5. Grafik laju pembakaran (briket dari *char* pirolisis bahan campuran)

Berdasarkan data Tabel 3 dapat diketahui periode pembakaran paling lama dimiliki briket Sampel 8 yaitu 50,5 menit dengan *fixed carbon* tertinggi 30,907 % (*proximate*). Sedangkan berdasarkan data Tabel 4 dapat diketahui bahwa laju pembakaran tertinggi 122 miligram/detik dimiliki briket Sampel 10, dan yang terendah 32 miligram/detik dimiliki briket Sampel 3. Periode pembakaran paling lama dimiliki briket Sampel 9 yaitu 84,80 menit dengan kadar *moisture* tertinggi 10,369 % (*proximate*).

Tabel 3 Data karakteristik pembakaran briket (*char* 100% PE)

Nomor Briket	Massa Awal (gram)	Laju Pembakaran Tertinggi (gr/detik)	Kecepatan Udara (m/detik)	Periode Pembakaran (menit)	Massa Abu (gram)
1	4,381	0,183	0,7	44,83	1,60
2	4,463	0,121	0,7	50,17	1,82
5	4,382	0,039	0,7	45,83	1,37
8	4,378	0,049	0,7	50,50	1,75

Tabel 4 Data karakteristik pembakaran briket (bahan *char* campuran)

Nomor Briket	Massa Awal (gram)	Laju Pembakaran Tertinggi (gr/detik)	Kecepatan Udara (m/detik)	Periode Pembakaran (menit)	Massa Abu (gram)
10	4,441	0,122	0,7	78,00	1,924
3	4,377	0,032	0,7	65,80	1,981
9	4,298	0,035	0,7	84,80	1,272
12	4,291	0,053	0,7	67,80	1,779

Pengujian yang dilakukan untuk mengukur emisi pembakaran briket menggunakan *gas analyzer* model MRU OPTIMA 7. Secara menyeluruh data uji emisi 13 sampel briket ditunjukkan pada Tabel 5 yang dapat memperlihatkan kadar emisi terukur (CO, NO, NO_x, dan SO₂) yang relatif rendah. Nilai emisi yang terdapat pada sampel penelitian jika dibandingkan dengan Peraturan Menteri ESDM No.47 tahun 2006 bahwa batas maksimal emisi CO (626 ppm), NO dan NO_x (78 ppm), dan SO₂ (50 ppm) dapat dikatakan dalam batas aman. Namun demikian kondisi pengujian emisi yang berbeda menjadikan tidak tepat untuk membandingkan. Keterbatasan sampel *char* yang diperoleh tidak memungkinkan pembuatan briket dalam jumlah banyak, pada beberapa sampel maksimal 3 sampai 4 buah briket dengan dimensi yang kecil. Oleh sebab itu tidak dapat dilakukan pengujian pembakaran pada tungku briket, sehingga hasil emisi yang terukur terbatas pada prosedur yang dilakukan.

Berdasarkan karakteristik *char* maupun setelah menjadi briket *char* maka ada beberapa permasalahan yang dapat digunakan sebagai pedoman guna menentukan langkah optimasi pembakaran, yaitu;

- Partikel *char* berukuran lembut dalam skala 100 mesh, sehingga produk yang dibuat tidak memiliki variasi porositas.
- Porositas briket yang rendah menyebabkan permasalahan yaitu menghambat difusi oksigen dalam proses pembakaran, sehingga perlu dipilih strategi pembakaran diantaranya *excess air* ataupun pencetakan briket pada dimensi yang kecil.
- Berdasarkan *proximate test* diketahui banyaknya kadar air dalam partikel sehingga perlu dilakukan pengeringan terlebih dahulu.
- Optimasi pembakaran briket tidak terlepas dari kualitas briket sebagai bahan bakar, dalam hal ini penyimpanan briket harus kedap udara untuk menghindari peristiwa adsorpsi air oleh karbon.

Tabel 5 Data uji emisi 13 sampel briket 3 gram

Content	Waktu (menit)	Sampel Briket(100% PE)				Sampel Briket (mixed)			
		1	2	5	8	3	9	10	12
CO (ppm)	0	0	1	1	1	1	1	1	1
	5	12	29	43	13	111	39	70	95
	10	32	27	1	50	41	13	10	58
	15	25	2	2	4	8	5	11	3
	20	2	2	0	2	4	1	3	1
NO (ppm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0
	15	0	0	0	0	0	0	0	0
	20	0	0	0	0	0	0	0	0
NO _x (ppm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0
	15	0	0	0	0	0	0	0	0
	20	0	0	0	0	0	0	0	0
SO ₂ (ppm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	2	2	0	1	1	0	0	0
	10	3	0	0	0	0	0	0	0
	15	1	0	0	0	0	0	0	0
	20	0	0	0	0	0	0	0	0

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari tahapan penelitian yang telah dicapai adalah;

- a. Karakteristik *char* telah diketahui bahwa ukuran partikel sangat halus sehingga porositas rerata sampel sangat rendah. Sebagian sampel memiliki kadar *volatile* yang masih tinggi, termasuk nilai kalornya.
- b. Optimasi pembakaran dapat dilakukan dengan pengeringan lanjutan terhadap bahan baku briket guna menghilangkan kadar *moisture*. Selain itu briket dengan porositas rendah akan lebih optimal jika dibuat dalam dimensi yang kecil dan berlubang.

Saran

Penelitian tentang pirolisis limbah plastik terbukti mampu mendaur ulang sampah menjadi produk bermanfaat, namun demikian dalam skala laboratorium belum didapatkan skala yang sebanding antara energy yang digunakan dengan energy yang dihasilkan. Oleh karena itu proses dalam skala besar akan memberikan keuntungan sehingga energy yang diperlukan dalam proses dapat diambil dari produk pirolisis. Selanjutnya terkait dengan *char* mengingat jumlahnya sangat minimal, maka setidaknya dapat digunakan sebagai bahan pencampur batubara atau arang biomassa. Hal ini dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya.

Daftar Pustaka

- Behzadi,S., dan Farid,M., *Liquid Fuels From Plastic Wastes in New Zealand*, <http://www.energyfed.org.nz/SBehzadi11-1.pdf> Online 28 Maret 2013.
- Cantrel, K.B., Martin, J.H., Ro, K.S., (2010), “*Application of Thermogravimetric Analysis for the Proximate Analysis of Livestock Wastes*”, <http://www.astm.org>
- Jung, S-H., Cho, M-H., Kim, J-S., (2009), “*Pyrolysis Of Post-Consumed Waste Plastics For The Recovery Of Btx-Aromatics Using A Fluidized Bed Reactor*”, 5th ISFR, Chengdu China, 11-14 Oktober
- Lee, K-H., (2012), “*Pyrolysis of Waste Polystyrene and High-Density Polyethylene, Material Recycling-Trends and Perspectives*” ISBN 978-953-51-0327-1, INTECH, InTech Europe: Croatia, InTech China: Shanghai.
- Mulgaonkar, MS., Kuo, CH., Tarrer, AR., *Plastics Pyrolysis and Coal Coprocessing With Waste Plastics*, Auburn University, Al-36849. http://web.anl.gov/PCS/acsfuel/preprint%20archive/Files/40_3_CHICAGO_08-95_0638.pdf, Online 27Maret 2013.
- Paraschiv, M., Kuncsher, R., Tazerout, M., (2009), “*Qualitative and Quantitative Analysis of Plastic Waste Pyrolysis Products*”, 11th ICEST, Cania Greece, 3-5September
- Peraturan Menteri ESDM Nomor : 047 Tahun 2006, *Pedoman Pembuatan Dan Pemanfaatan Briket Batubara Dan Bahan Bakar Padat Berbasis Batubara*.
- Saikia, M., Baruah, D., (2013), “*Analysis of Physical Properties of Biomass Briquettes Prepared by Wet Briquetting Method*”, IJERD., Vol. 6, Issue 5, (2008), pp. 12-14
- Saptoadi, H., (2008), “*The Best Biobriquette Dimension and it’s Particle Size*”, Asian J. Energy Environ., Vol. 9, Issue 3 and 4, (2008), pp. 161-175
- Shadaka, S.,-, “*Pyrolysis*”,Iowa State University.Nevada <http://bioweb.sungrant.org/NR/rdonlyres/57BCB4D0-1F59-4BC3-A4DD-4B72E9A3DA30/0/Pyrolysis.pdf> online : 11 Mei 2013
- Sharobem, T.T., (2010), “*Tertiary Recycling of Waste Plastics: An Assessment of Pyrolysis by Microwave Radiation*”, Thesis, Columbia University.
- Smoot, L.D., Smith, P.J., (1985), *Coal Combustion and Gasification*, Plenum Press, New York.