

PENGOLAHAN SAMPAH KOTA TERSELEKSI MENJADI *REFUSED DERIVED FUEL* SEBAGAI BAHAN BAKAR PADAT ALTERNATIF

DWI ARIES HIMAWANTO,¹ R. DHIMAS DHEWANGGA P,³ INDARTO,² HARWIN SAPTOADI,² DAN TRI AGUNG ROHMAT²

¹ Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret

^{2,3} Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada

E-mail: dwi_ah@uns.ac.id

ABSTRAK

Limbah Padat Kota (LMK) memiliki potensi besar sebagai bahan baku terbarukan untuk menghasilkan energi modern melalui termokimia yang disebut pyrolysis, dan proses densifikasi untuk membentuk. Refused Derived Fuels (RDF), yaitu LMK briket char. Pada artikel ini, analisis termogravimetri dilakukan untuk menganalisis karakteristik pembakaran briket dari briket LMK dan briket LMK char. Sampel dalam penelitian ini adalah 70% berat komponen organik LMK -30% berat LMK komponen non organik. Sampel 20 gram ditempatkan dalam tungku yang temperaturnya meningkat 10° C/min dan sampai suhu sampel mencapai 400° C dan ditahan selama 30 menit sebelum sampel didinginkan hingga mencapai suhu kamar. 100 ml/menit nitrogen diperlihatkan dari bagian bawah tungku sebagai gas yang terbuang. Char yang sudah terbentuk dipadatkan dan kemudian ditandai dalam keseimbangan makro produksi, diadopsi dari Swithenbank et al. Sampel 3 gram ditempatkan dalam tungku yang temperaturnya meningkat dengan laju pemanasan yang dipilih sampai massa sampel hampir konstan. Penelitian menunjukkan bahwa efek pirolisis memberikan peningkatan nilai sampel pemanasan dan memberikan suhu pengapian lebih rendah dari char briket pembakaran.

Kata kunci: limbah padat kota, pirolisis, char, briket, RDF

ABSTRACT

Municipal Solid Wastes (MSW) has great potential as a clean, renewable feedstock for producing modern energy carriers through thermochemical, called pyrolysis, and densification processes to form a Refused Derived Fuels (RDF), i.e MSW char briquette. In this article, thermogravimetry analysis has done to analyzed combustion characteristic of MSW briquette dan MSW char briquette. The sample in this research is 70% wt MSW organic component -30% wt MSW non organic component. The 20 gram sample is placed in the furnace whose temperature is increased 10° C/min and until sample temperature reaches 400° C and held for 30 minutes before the sample is cooled into room temperature. 100 ml/min nitrogen is introduced from the bottom of furnace as a swept gas.. The formed char is densified and then characterized in a self manufactured macro balance, adopted from Swithenbank et al. The 3 gram sample is placed in the furnace whose temperature is increased wih the selected heating rate until sample mass nearly constant. The results of the research showed that the effect of pyrolysis give the increase of sample heating value and give the lower ignition temperature of char briquette combustion.

Key words: municipal solid wastes, pyrolysis, char, briquette, RDF

PENDAHULUAN

Sampah merupakan bahan yang terbuang dari hasil aktivitas manusia maupun proses alam yang tidak memiliki nilai ekonomi lagi, bahkan dapat menimbulkan dampak yang negatif. Selama ini sampah kota menjadi salah satu masalah lingkungan yang memerlukan penanganan yang sangat serius. Masalah yang sering muncul dalam penanganan sampah kota yang terus bertambah jumlahnya adalah biaya operasional yang tinggi dan semakin sulitnya ruang yang pantas untuk pembuangan, sehingga dalam penanganan sampah kota sering

menimbulkan dampak yang buruk terhadap lingkungan. Pada umumnya, sampah dapat dibagi menjadi dua golongan yaitu sampah organik dan anorganik. Selama ini penanganan sampah kota di negara-negara berkembang seperti Indonesia hanya menimbun dan membakar langsung sampah di udara terbuka pada TPA (tempat pembuangan akhir). Hal ini juga tidak bisa mengurangi 100% sampah dan akan menimbulkan permasalahan yaitu produksi yang dihasilkan zat-zat polutan yang dapat mencemari lingkungan yaitu gas-gas hasil pembakaran seperti CO₂, NO_x, SO₂, dan lain-lain.

Estimasi jumlah timbunan sampah di Indonesia pada tahun 2008 diperkirakan mencapai 38,5 juta ton/tahun dengan komposisi terbesar adalah sampah organik (58%), sampah plastik (14%), sampah kertas (9%) dan sampah kayu (4%). (Kementerian Negara Lingkungan Hidup, 2008). Teknologi untuk menangani sampah sebenarnya telah banyak dikembangkan terutama oleh negara-negara maju yaitu di antaranya teknologi *sanitary landfill*, *incineration*, *gasification*, dan *anaerobic digestion*. Salah satu cara pengolahan sampah yang dipandang cukup prospektif dilakukan adalah mengolah sampah kota menjadi *RDF* (*Refused Derived Fuel*), yaitu mengolah sampah kota menjadi *char*/arang melalui proses pirolisis dan kemudian memadatkannya sehingga menjadi briket *char*.

Pirolisis didefinisikan sebagai proses degradasi termal dari padatan dalam kondisi tidak adanya oksigen, yang memungkinkan terjadinya beberapa jalur konversi termokimia sehingga padatan tersebut menjadi gas (*permanent gasses*), cairan (*pyrolytic liquid*) dan padatan (*char*) (Di Blasi (2008). Sementara Swithenbank et.al (2005) mendefinisikan pirolisis sebagai degradasi termal atau deformasi limbah organik dalam kondisi tanpa oksigen dan dalam kondisi tekanan atmosfer atau vakum untuk menghasilkan *char* (*carbonaceous char*), minyak pirolisis, dan gas pada temperatur yang relatif rendah berkisar antara 400–800° C. Penelitian pirolisis sampah kota pernah dilakukan oleh Ojolo dan Bangboye (2005) dengan menggunakan sampel seberat 12 kg dengan temperatur pirolisis berkisar antara 400° C sampai dengan 650° C selama 4 jam, perbandingan produk yang didapatkan dari penelitian tersebut adalah 52,2% tar, 25,2% *char* dan 22,6% gas. Sedangkan Yang et al. (2007) melakukan penelitian pirolisis lambat dari sampah kota terpisahkan dalam *packed bed pyrolyzer* dengan berat sampel yang cukup banyak. Hasilnya diperoleh bahwa persentase *char* yang dihasilkan berkisar antara 21–34%, tar 34–46% dan gas 23–43% pada kondisi temperatur pirolisis 350–700° C. Dari hasil pemodelan diketahui bahwa pada *cardboard* dan limbah tekstil, pemecahan tar tidak cukup untuk menimbulkan kenaikan pelepasan tar, hal ini diduga berhubungan dengan kandungan mineral yang dimiliki, hal tersebut diperkuat oleh Phan et al. (2008) melakukan penelitian mengenai karakterisasi produk yang dihasilkan dari proses slow pirolisis sampah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk menghasilkan produk *char* dan tar yang optimum, maka temperature akhir proses *slow pirolisis* seyogyanya di bawah 500° C.

Sementara itu, penelitian karakteristik pembakaran *char* sampah kota dilakukan oleh Cheng et al. (2007), di mana proses pirolisis dilakukan dengan laju kenaikan temperatur 10° C/menit pada temperatur

ruang 666° C sementara proses pembakaran dilakukan dengan memanaskan ruang pembakaran dengan laju kenaikan temperatur 10° C/menit hingga temperatur ruang bakar mencapai 1270° C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa selama proses pirolisis terjadi pengurangan berat sampel sebesar 60% dan dengan pelakuan penelitian tersebut diperkirakan energi yang mampu diperoleh sebesar 20.000 kJ/kg. Penelitian mengenai proses pirolisis dan pembakaran dari sampah juga dilakukan oleh Grammelis et al. (2009). Penelitian dilakukan dengan 5 sampel berbahan baku kayu, 6 sampel berbahan baku plastik dan 2 sampel *RDF* (*Refused Derived Fuel*). Pirolisis dilakukan pada kisaran temperatur 30° C sampai dengan 1000° C dengan laju kenaikan temperatur 20° C/menit, sementara proses pembakaran dilakukan dengan kondisi termal yang sama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinetika reaksi dekomposisi *RDF* merupakan penjumlahan dari kinetika komponen penyusunnya dan juga *RDF* dengan komponen plastik yang lebih tinggi menghasilkan *char* yang lebih rendah dengan reaktivitas yang rendah.

Pengolahan sampah kota menjadi *RDF* dalam bentuk briket *char* telah diteliti oleh beberapa peneliti, dan tampak bahwa karakteristik pirolisis sampah kota dan pembakaran *RDF* sangat tergantung pada jenis sampel yang diteliti. Oleh karena itu, maka dalam artikel ini akan disajikan hasil penelitian mengenai pengolahan sampah kota. terseleksi menjadi *RDF*, dengan menggunakan sampel dari beberapa jenis sampah yang banyak dijumpai di Indonesia dan belum terolah secara maksimal.

METODE

Bahan Penelitian

Bahan dalam penelitian ini adalah sampah kota yang terdiri atas 70 % (berat) sampah organik (yang terdiri dari sampah daun pisang dan sampah bambu) dan 30% (berat) sampah non organik (yang meliputi sampah kemasan dan sampah *styrofoam*). Pemilihan komposisi sampel penelitian didasarkan pada estimasi komposisi timbunan sampah yang ada saat ini.

Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas peralatan uji pirolisis yang sekaligus dapat berfungsi sebagai peralatan uji pembakaran. Peralatan uji pirolisis bertipe *packed bed pyrolyzer*, yang diadaptasi dari penelitian Swithenbank et al. (2005), yang terdiri atas tungku pemanas yang dilengkapi dengan *thermocontroller* dengan pembacaan temperatur sampai dengan 1000° C dan reaktor untuk proses pirolisis dengan berdiameter

96 mm tinggi 500 mm. Reaktor pirolisis tersebut dialiri gas nitrogen dari bawah reaktor. Gas nitrogen berasal dari tabung yang dilengkapi dengan *pressure gauge* dan rotameter guna mengatur laju aliran nitrogen. Sedangkan pada bagian atas tabung reaktor terdapat saluran untuk mengalirkan gas hasil pirolisis ke sistem pendingin. Untuk mengukur pengurangan massa sampel yang terjadi selama proses pirolisis, maka pada bagian tutup reaktor diberikan lubang berdiameter 5mm untuk peletakan kawat yang menghubungkan sampel dengan timbangan digital. Untuk melakukan uji pembakaran, maka aliran gas nitrogen diganti menjadi aliran udara dari blower. Skematik peralatan penelitian tersaji dalam gambar 1.

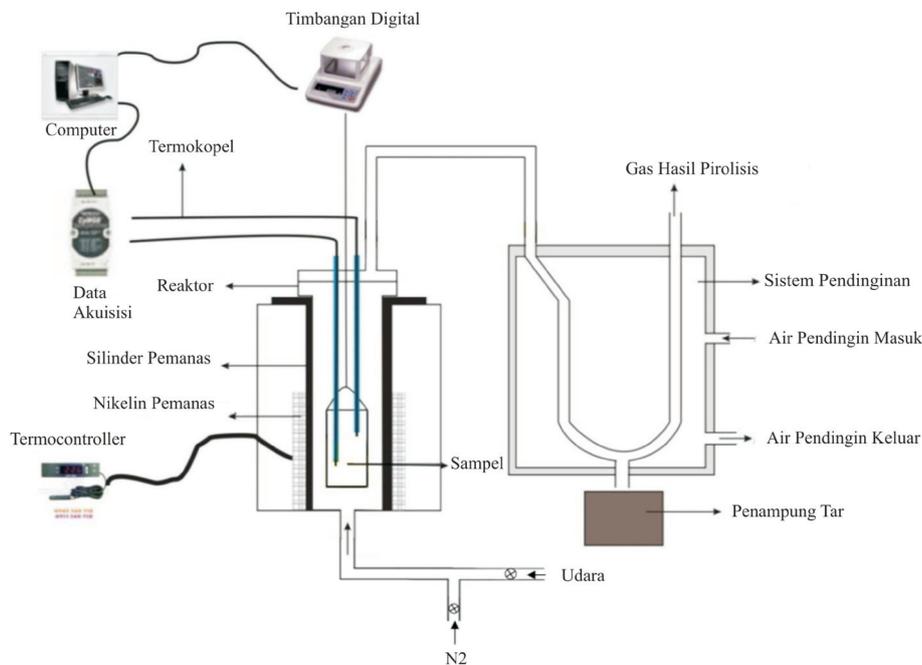
Cara Pengambilan Data

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah pengumpulan dan penyiapan bahan baku. Bahan baku yang dikumpulkan adalah sampah kota yang terdiri atas sampah kemasan, sampah yang berbahan baku biomass (daun pisang dan bambu), dan sampah *styrofoam*.

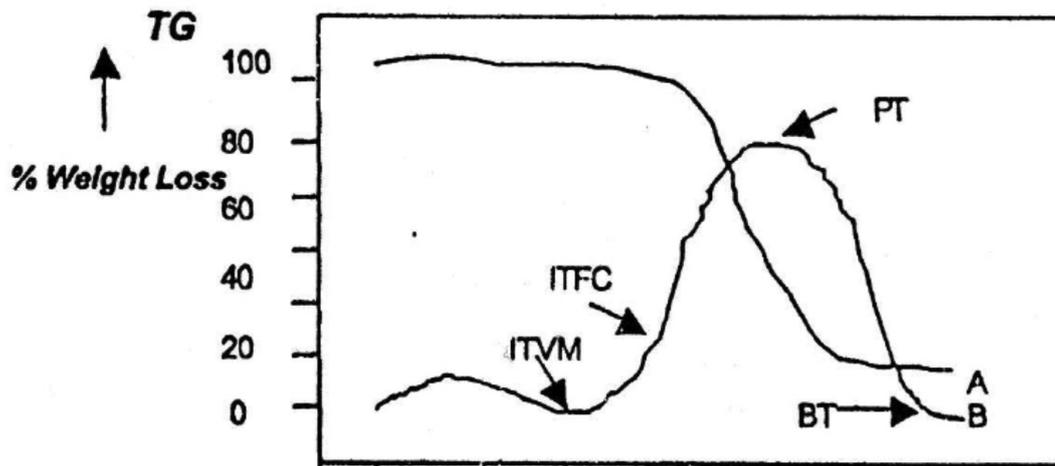
Sampah kota secara sederhana diartikan sebagai sampah organik maupun anorganik yang dibuang oleh masyarakat dari berbagai lokasi di kota tersebut. Sumber sampah umumnya berasal dari perumahan dan pasar. Permasalahan sampah merupakan hal yang krusial. Bahkan, sampah dapat dikatakan sebagai

masalah kultural karena dampaknya terkena pada berbagai sisi kehidupan, terutama di kota-kota besar seperti Jakarta, Semarang, Bandung, Medan dan Surabaya. Menurut perkiraan, volume sampah yang dihasilkan perorang rata-rata sekitar 0,5 kg/kapita/hari. Jadi, untuk kota besar seperti Jakarta yang penduduknya 10 juta orang sampah yang dihasilkan sekitar 5.000 ton/hari. Dengan jumlah yang tergolong besar tersebut, maka perlu adanya penanganan sampah yang khusus. Bila tidak cepat ditangani secara benar maka kota-kota di Indonesia akan tenggelam dalam timbunan sampah bersamaan dengan segala dampak negatif yang ditimbulkan. Sumber sampah yang terbanyak adalah dari pemukiman dan pasar tradisional. Sampah pasar khusus seperti sayur-mayur, pasar buah, atau pasar ikan, jenisnya relatif seragam, sebagian besar (95%) berupa sampah organik sehingga lebih mudah ditangani. Sampah yang berasal dari pemukiman umumnya sangat beragam, tetapi secara umum minimal 75% terdiri dari sampah organik dan sisanya anorganik. Meskipun hanya bahan organik yang biasa terurai oleh mikroba, tetapi setiap jenis bahan berbeda tingkat kemudahan dalam penguraiannya (*degradibilitas*).

Sampel kemudian dikeringkan sehingga memiliki kadar air maksimal 10%. Dan dihaluskan hingga lolos ukuran 20 mesh. Setelah bahan baku terkumpul maka bahan baku yang berupa sampah organik dan sampah plastik tersebut diuji secara *proximate* dan



Gambar 1. Skematik Peralatan Penelitian



Gambar 2. Penentuan Zona Pembakaran Dengan Metoda Thermogravimetry

uji nilai kalor, pengujian meliputi nilai kalor (*heating value*) sesuai standar ASTM 2015, kadar air dengan standar pengujian ASTM D-3173, kadar abu sesuai dengan standar pengujian ASTM D-3174, kandungan *volatile matter* dengan standard ASTM D-3175 dan kadar *fixed carbon* sesuai dengan standar pengujian ASTM D-3172.

Tahap selanjutnya adalah proses pirolisis dan uji pembakaran dengan sampel 20 gram. Proses pirolisis yang dilakukan adalah proses *slow pyrolysis* dengan kenaikan temperatur pirolisis sebesar 10° C/ menit dengan temperatur akhir proses *slow pyrolysis* sebesar 400° C serta lama proses karbonasi 30 menit. Setelah menjalani proses pirolisis, maka dilakukan uji proximate dan uji nilai kalor terhadap hasil proses *slow pirolisis* untuk mengetahui sifat-sifat *char* yang dihasilkan. Tahapan berikutnya adalah pembuatan briket *char* sampah kota dengan tekanan pengepresan 350 kg/cm², dengan berat briket 3 gram dan pengikat berupa tepung kanji (*cassava starch*) yang dihasilkan dari proses pirolisis sebesar 20% dari berat sampel.

Uji karakteristik pembakaran briket *char* sampah kota menggunakan metode *thermogravimetri* seperti terlihat dalam gambar 2, untuk mengetahui karakteristik bahan bakar yang diuji (meliputi temperatur pembakaran di mana massa briket mulai berkurang (*volatile matter initiation*

temperatur (ITVM)), temperatur ruang bakar di mana laju pengurangan massa meningkat selama proses awal pembakaran (*fixed carbon initiation temperature (ITFC)*), temperatur ruang bakar yang menghasilkan laju penurunan massa briket terbesar (*peak temperature (PT)*) dan temperatur ruang bakar di mana massa briket konstan pada akhir tahap pembakaran (*burning temperature (BT)*), metode ini dilakukan dengan cara menaikkan temperatur ruang bakar dari temperatur kamar secara bertahap dengan besar kenaikan konstan tiap waktu (direncanakan kenaikan temperatur 20° C/menit) sampai sampel bahan bakar terbakar habis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Proksimat Bahan Baku

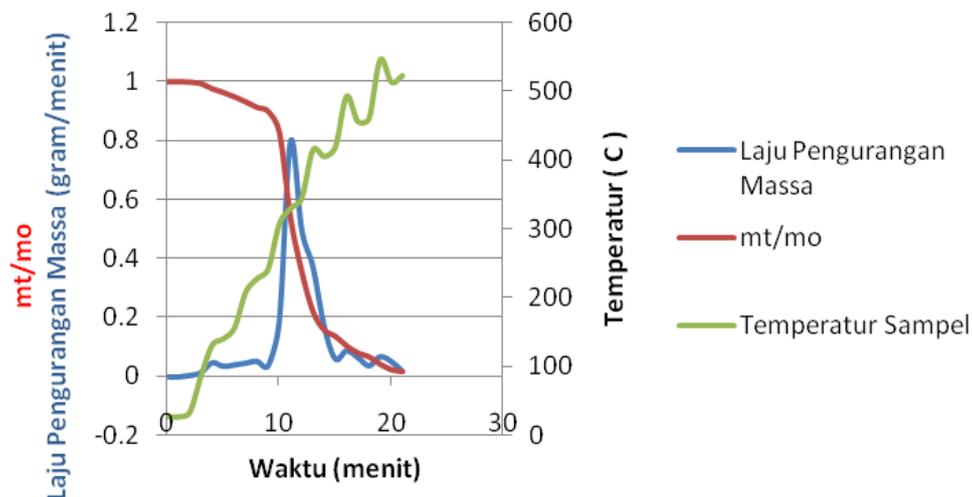
Dari uji proksimat bahan baku disajikan dalam tabel 1.

Uji proksimat dilakukan di PSPG PAU Universitas Gadjah Mada sesuai dengan standar pengujian yang mengacu pada ASTM D1762-84. Dari uji proksimat terlihat bahwa kadar *fixed carbon* pada kemasan memiliki harga paling rendah. Data-data yang didapatkan mendekati data uji proksimat yang diperoleh dari penelitian Grammelis (2009).

Tabel 1. Hasil Uji Proksimat Bahan Baku

Bahan	Kadar abu (%)	Kadar air (%)	Kadar Volatile Matter (%)	Kadar Karbon Tetap (%)	Nilai Kalor (kal/gram)
bambu	8.005	7.315	80.376	4.304	4001.563
daun	13.56	10.155	73.008	3.277	4189.169
kemasan	1.81	0.955	95.545	1.69	8326.184
styrofoam	2.54	0.55	86.281	10.629	9414.385

Karakteristik Pembakaran Briket 70 % Organik - 30 % Anorganik



Gambar 3. Karakteristik Pembakaran Briket Sampah 70% Organik – 30% Non Organik

Dari hasil uji proksimat, tampak bahwa komponen non organik memiliki nilai kalor yang tinggi, namun disisi lain, disadari melakukan pembakaran secara langsung terhadap komponen-komponen tersebut akan membawa dampak buruk bagi lingkungan.

Karakteristik Pembakaran Briket Sampah Kota Tanpa Pirolisis

Karakteristik pembakaran briket sampah kota tanpa pirolisis dapat dilihat pada gambar 3. Secara teoritis, proses pembakaran bahan bakar padat dapat dibagi menjadi tiga tahapan, yaitu tahap pengeringan, tahap devolatilisasi, tahap pembakaran arang, dan akan tersisa abu. (Ragland dan Borman, 1998)

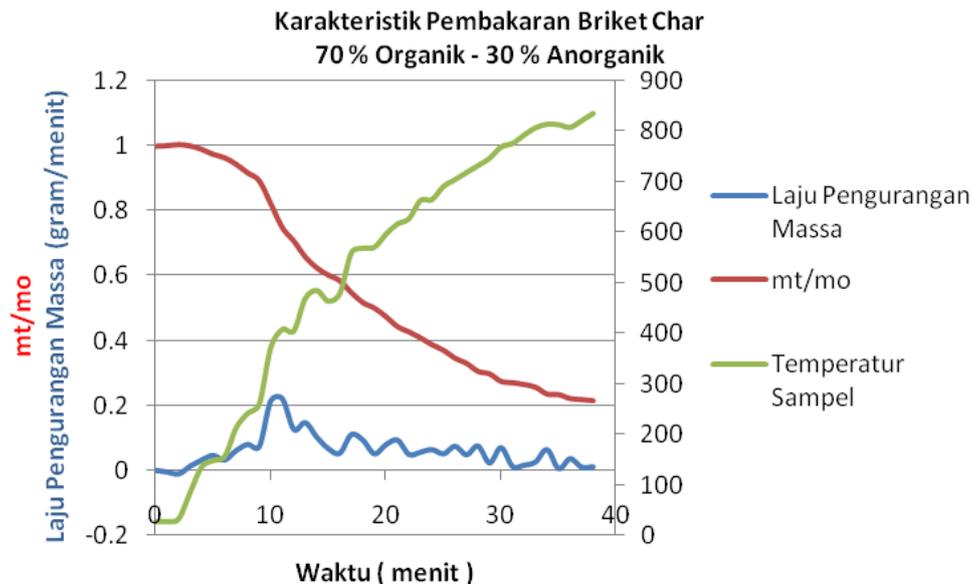
Berdasarkan gambar 3, terlihat bahwa proses pengeringan dimulai pada temperatur sekitar 52° C. Hal ini terlihat dari penurunan massa yang landai. Proses pengeringan berlangsung sampai temperatur 268° C menyisakan massa sebesar 90%. Berakhirnya proses pengeringan diikuti dengan mulainya proses devolatilisasi yang ditandai dengan penurunan massa yang sangat tajam. Proses devolatilisasi dimulai pada temperatur 268° C dan berakhir pada temperatur 428° C. Pada proses devolatilisasi ini massa berkurang hingga menyisakan 20% dari massa awal. Setelah proses devolatilisasi selesai maka akan diikuti proses pembakaran *char*. Pada pembakaran *char* ini massa akan berkurang sampai hanya tertinggal 0,44%. Temperatur akhir pembakaran adalah 579° C di mana pada temperatur ini *char* hampir terbakar habis dan menyisakan abu. Berdasarkan gambar 3, ITVM terjadi pada temperatur 241,8° C, ITFC pada 307,8° C, PT pada temperatur 330,1° C dan BT terjadi pada temperatur 491° C

Penentuan *Energy Recovery* Proses Pirolisis

Menentukan, komposisi dan teknologi *slow pyrolysis* yang tepat guna menghasilkan *char* yang optimum maka perlu mempertimbangkan banyak hal, disebabkan proses *slow pyrolysis* dapat menghasilkan *char* dengan nilai kalor yang relatif tinggi namun pengurangan massa akibat proses pirolisis juga cukup besar, sehingga perlu optimasi di antara keduanya, dan juga perlu dipertimbangkan pula pasokan energi yang diperlukan untuk menghasilkan *char* tersebut. Oleh karena itu dalam menentukan teknologi proses yang tepat digunakan satu besaran yaitu *energy yield*, yaitu banyaknya energi yang dapat diselamatkan (*energy recovery*) selama proses pirolisis (Swithenbank (2005), dengan rumusan perbandingan antara nilai kalor *char* yang dihasilkan dan nilai kalor bahan baku dikalikan dengan massa *char* yang tersisa setelah proses pirolisis. Hasil penelitian, didapatkan bahwa massa *char* yang tersisa setelah proses pirolisis adalah sebesar 29,49%, sementara nilai kalor *char* yang dihasilkan sebesar 5.527,846 kal/gram dan nilai kalor briket sampah kota adalah sebesar 5460,68 sehingga *energy yield* proses pirolisis yang diteliti adalah sebesar 29,13%.

Karakteristik Pembakaran Briket *Char*

Karakteristik pembakaran briket *char* hasil pirolisis campuran dengan komposisi organik-anorganik 70–30 ditampilkan pada gambar 4. Dari gambar tersebut, tampak bahwa pembagian zona pengeringan dan devolatilisasi tidak begitu jelas terlihat, hal inilah yang membedakan dengan pembakaran briket tanpa perlakuan pirolisis. Dari gambar tersebut, tampak bahwa ITVM terjadi pada temperatur 197,5° C, ITFC pada temperatur 298,8° C,



Gambar 4. Karakteristik Pembakaran Briket *Char* Sampah 70% Organik – 30% Non Organik

sementara PT terjadi pada temperatur 429,5° C. Data yang didapatkan, terlihat bahwa proses pembakaran briket *char* terjadi pada ITVM dan ITFC yang lebih rendah bila dibandingkan dengan briket tanpa pirolisis, hal ini menunjukkan bahwa briket *char* lebih mudah dibakar bila dibandingkan dengan briket tanpa perlakuan pirolisis. Hal lain yang menarik untuk dicermati adalah briket *char* memiliki PT yang terjadi pada temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan briket tanpa perlakuan pirolisis, hal ini menunjukkan bahwa briket *char* memiliki kecepatan pengurangan massa yang lebih rendah daripada briket tanpa pirolisis.

SIMPULAN

Hasil pengambilan dan pengolahan data dapat disimpulkan bahwa proses pirolisis terhadap sampel sampah kota dengan komposisi 70% organik – 30% non organik akan menghasilkan massa *char* yang tersisa setelah proses pirolisis sebesar 29,49%, dengan nilai kalor *char* yang dihasilkan sebesar 5.527,846 kal/gram, sehingga *energy yield* proses pirolisis yang diteliti adalah sebesar 29,13%. Sementara itu, proses pembakaran briket *char* sampel yang diteliti terjadi pada ITVM dan ITFC yang lebih rendah daripada briket non pirolisis, namun penurunan massa maksimum terjadi pada temperatur yang lebih besar, sehingga dapat disimpulkan briket *char* yang diteliti lebih mudah terbakar namun lebih awet dalam pembakaran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan sebagian dari hasil penelitian Hibah Penelitian Disertasi Doktor Tahun Anggaran 2010 yang didanai oleh DP2M Ditjen DIKTI Kementerian Pendidikan Nasional Republik Indonesia. Dalam kesempatan ini, tim peneliti ingin mengucapkan terima kasih kepada semua asisten penelitian yang terlibat dalam kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Borman, G.L., Ragland, K.W. 1998. Combustion Engineering, International Editions. WCB/McGraw-Hill, Singapore.
- Cheng, Z., Chen, H., Zhang, Y., Hack, P., Pan, W.P., 2007. An Application of Thermal Analysis to Household Waste. Journal of ASTM International Vol, 4 No. 1., Paper ID: JAI100523.
- Di Blasi, C. 2008. Modeling Chemical and Physical Processes of Wood and Biomass Pyrolysis. Progress in Energy and Combustion Science 34, pp. 47–99.
- Grammelis, P., Basinas, P., Malliopoulou, A., Sakellariopoulos, G. 2009. Pyrolysis Kinetics and Combustion Characteristics of Waste Recovered Fuels. Fuel 88, pp. 195–205.
- Ojolo, S.J., Bamgboye, A.I. 2005. Thermochemical conversion of Municipal Solid Waste to Produce Fuel and Reduce Waste. The CIGR Ejournal, Vol. VII, Manuscript EE 05 006.
- Phan, A.N., Ryu, C., Sharifi, V.N., Swithenbank, J. 2008. Characterisation of Slow Pyrolysis Products from Segregated Wastes for Energy Production. J.Anal. Appl. Pyrolysis 81, pp. 65–71.

Yang, Y.B., Phan, A.N., Ryu, C., Sharifi, V.N., Swithenbank, J. 2007. Mathematical Modelling of Slow Pyrolysis of Segregated Solid Wastes in a Packed-Bed Pyrolyser. *Fuel* 86, 169–180.

Swithenbank, J., Sharifi, V.N., Ryu, C. 2005. Waste Pyrolysis and Generation of Storable Fuel, SUWIC

Department of Chemical and Process Engineering.
The University of Sheffield.

Turn, Stephen R. 1996. *An Introduction to Combustion*. McGraw-Hill.

Yang, Y.B., Phan, A.N., Ryu, C., Sharifi, V., Swithenbank, J. 2007. Mathematical Modelling of Slow Pyrolysis of Segregated Solid Waste in A Packed-Bed Pyrolyser, *Fuel* 86, pp. 169–180.