

Reduksi Volume Dan Pengurangan Kotoran Sapi Dengan Metode Pirolisis

Widya Wijayanti, Mega Nur Sasongko

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jl. MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

[E-Mail: widya_dinata@ub.ac.id](mailto:widya_dinata@ub.ac.id)

Abstract

The study was conducted to determine the change of mass, the shrinking volume and the heating value of char of cow dung induced by slow pyrolysis. The char produced by pyrolysis can be used as an alternative solid fuels. Besides, it can be a biochar as a mixture of biomaterial having a high-value materials. It due to the char has a high content of Carbon. In this experiment, the heating value of char was examined by using bomb calorimeter. The temperature pyrolysis was varied from 100°C to 500°C. Before the pyrolysis process, the feedstock was pulverized to a particle size of about 0.7 mm, and then it dried in the oven to have a moisture content up to 4%. The pyrolysis was conducted at varied temperatures and different heating rates from 0.13°C/sec to 0.29°C/sec. The results showed that the reduction of the cow dung volume performed significantly by the way of slow pyrolysis. The most reduced volume of cow dung occurred very significant at the highest pyrolysis temperature, reaching 60% at 500°C. On the other hand, the heating rate variation did not influence in yield reduction, but it has an effect on the result of heating value of char. The results also indicated that the optimal of heating rate occurred at 0.13°C/sec to 0.16°C/sec. In the visualization of the solid yield pyrolysis products, as higher pyrolysis temperature, as darker color of the char. It was shown the Carbon content in the char.

Keywords: cow dung, pyrolysis temperature, heating rate, heating value, char

PENDAHULUAN

Permasalahan daur ulang kotoran ternak merupakan masalah krusial yang harus diselesaikan demi terciptanya peningkatan kualitas kesehatan lingkungan. Ditambah lagi dengan isu pencarian berbagai macam bahan bakar alternatif, bukan hal yang mustahil jika daur ulang kotoran ternak dikaitkan dengan konversi kotoran menjadi bahan bakar. Di bidang peternakan, kotoran sapi merupakan salah satu kotoran ternak yang harus dikelola dengan baik agar tidak menurunkan kualitas kesehatan lingkungan [1]. Berbagai upaya dilakukan untuk mengurangi dampak kotoran sapi terhadap lingkungan.

Proses pembakaran langsung kotoran yang digunakan sebagai bahan bakar alternatif memiliki kekurangan seperti asap yang banyak, debu hasil proses pembakaran yang dapat mengganggu pernapasan, serta efisiensi dan nilai kalor yang cukup rendah. Oleh karena itu, harus diterapkan pengelolaan kotoran sapi dengan metode konversi yang lain.

Metode penanganan kotoran sapi yang lain yang juga sudah digunakan saat ini adalah pengumpulan kotoran sapi dalam bioreaktor yang mengkonversi kotoran ini menjadi biogas sebagai penghasil metana (bahan bakar alternatif) dan kompos. Sayangnya, penumpukan volume kotoran sapi sisa konversi biogas dianggap sebagai masalah baru, karena waktu reaksi yang dibutuhkan relatif lama. Akibatnya, penumpukan volume kotoran sapi yang belum tertangani masih tinggi. Komposting sebagai produk samping dari biogas sebagai pupuk juga memakan waktu dan tempat serta belum diimbangi oleh produksi kotoran sapi yang semakin tidak terkendali.

Metode lain yang dapat diterapkan untuk menekan volume kotoran sapi agar dapat dimanfaatkan secara maksimal adalah dengan metode termolisis/pirolisis [2]. Dengan metode ini, seluruh kotoran sapi dapat dikonversi menjadi bahan bakar. Bila biogas hanya menghasilkan satu jenis bahan bakar dalam fase gas, maka pirolisis dapat mengkonversi kotoran sapi menjadi bahan bakar dalam 3 fase, yaitu fase padat

(arang/char), fase cair (tar), dan fase flammable gas (CH_4 , CO_2 , dan H_2)[3].

Kelebihan lain dari metode pirolisis bila dibandingkan dengan metode pengkonversian yang lain adalah waktu pengkonversian yang relatif cepat. Waktu pirolisis yang digunakan untuk memproses kotoran sapi menjadi bahan bakar alternatif dapat dilakukan hanya dengan 2 jam saja, dimana waktu tersebut adalah waktu yang sangat singkat untuk sebuah metode yang dapat menghasilkan bahan bakar alternatif.

Selain untuk mengurangi volume kotoran sapi, penelitian ini juga mempunyai hasil samping berupa arang yang berguna sebagai bahan bakar padat. Selain bermanfaat sebagai bahan bakar, arang juga dapat dimanfaatkan sebagai panghasil karbon yang tinggi, yang bermanfaat sebagai campuran bio-material dan campuran penyubur tanah.

Untuk menghasilkan arang yang tinggi, metode pirolisis yang sangat sesuai untuk diterapkan adalah slow pirolisis. Hal ini dikarenakan, pada proses slow pirolisis, laju pemanasan yang digunakan sangat lambat, sehingga gas dan tar yang dihasilkan semakin rendah. Sebaliknya, proses pengarangan pada slow pirolisis sangat tinggi. Akibatnya, jumlah arang yang dihasilkan semakin besar [4].

Untuk mengetahui kualitas arang hasil pirolisis, penelitian ini juga menguji nilai kalor arang yang dihasilkan oleh kotoran sapi tersebut. Diharapkan, kotoran sapi mempunyai nilai guna yang tinggi karena selain dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar padat alternatif, arang juga dapat dimanfaatkan sebagai campuran material yang bernilai tinggi, karena mempunyai nilai C yang tinggi [5].

Bila persamaan reduksi volume dinyatakan dengan persamaan yang similar dengan penurunan berat [6]

$$\frac{dV}{dt} = -kV \quad (1)$$

maka dengan mempertimbangkan proses penurunan volume pada proses pirolisis, didapatkan

$$\frac{dV}{dt} = -\frac{k}{(V_{max} - V_{\infty})} (V - V_{\infty}) \quad (2)$$

di mana k adalah konstanta laju reduksi biomassa, V adalah volume biomassa dalam suatu waktu tertentu, yang merupakan perbandingan antara V_{max} dalam persentase waktu awal sebelum pirolisis dan V_{∞} sebagai persentase dari biomassa pada akhir proses.

Selanjutnya, dengan mengganti k yang similar dengan persamaan Arrhenius, maka k dinyatakan sebagai berikut,

$$k = k_0 \exp \left(-\frac{a}{T} \right) \quad (3)$$

Karena k (pers. 3) tergantung pada temperatur pirolisis (T), maka reduksi volume akan dipengaruhi oleh besarnya temperatur pirolisis.

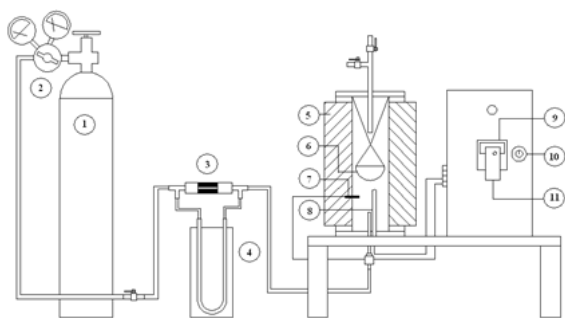
Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh temperatur pada proses reduksi volume ini, maka slow pirolisis dilakukan pada berbagai variasi temperatur pirolisis antara 100°C hingga 500°C . Selain dilakukan pada berbagai temperatur, penelitian ini juga menguji proses reduksi volume dan pengarangan kotoran sapi pada berbagai laju pemanasan pirolisis. Laju pemanasan yang digunakan pada penelitian kali ini masih dalam rentang waktu untuk slow pirolisis, yang divariasikan antara $0,13^{\circ}\text{C/detik}$ hingga $0,29^{\circ}\text{C/detik}$.

Sehingga, penelitian dengan 2 pengaruh tersebut dilakukan untuk mengetahui perubahan masa dan volume pada awal dan akhir pirolisis, serta kualitas pengarangan hasil pirolisis. Diharapkan penelitian ini dapat digunakan untuk memprediksi reduksi volume hasil pirolisis, yang selanjutnya bisa dilakukan untuk mengatasi masalah penumpukan volume kotoran sapi. Selain reduksi volume kotoran, produk samping proses pirolisis ini adalah berupa arang dengan kualitas baik yang mempunyai nilai kalor yang cukup tinggi.

METODE PENELITIAN

Pirolisis merupakan metode termolisis dimana kotoran sapi (*feedstock*) direaksikan/dipanaskan dengan gas inert (N_2) sehingga hasil reaksinya adalah dekomposisi dari komponen komponen *feedstock*nya.

Skema penelitian dapat dilihat pada gambar 1 yang menjelaskan instalasi penelitian beserta keterangan alat-alat pirolisisnya.



Gambar 1. Instalasi Penelitian

Keterangan :

1. Tabung Gas N₂
2. Pressure Gauge
3. Orifice
4. Manometer U
5. Glass wool
6. Furnace
7. Thermocouple
8. Heater
9. Thermocontroller
10. Potensiometer
11. Kamera

Persiapan awal yang dilakukan sebelum memulai proses pirolisis adalah kotoran sapi sebagai *feedstock* (spesimen) dikeringkan hingga kadar airnya sebesar 4%. Kemudian, ukuran spesimen diseragamkan dengan ukuran butir kurang lebih sebesar 0,7 mm. Sebelum proses pirolisis dimulai, spesimen-spesimen yang akan dipirolisis diukur massanya sebesar 13 gram.

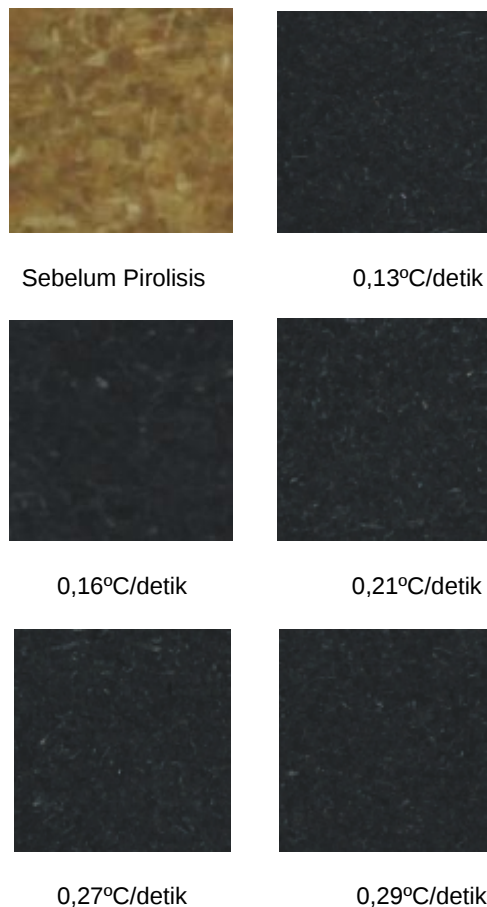
Setelah langkah persiapan selesai dilakukan, spesimen dimasukkan ke dalam wadah spesimen untuk selanjutnya dimasukkan ke dalam *furnace*. Gas N₂ dialirkan ke dalam *furnace* sampai kadar O₂ hilang hingga paling tidak kadar O₂ $\pm$ 1% dari volume *furnace*. Setelah itu, *furnace* dipanaskan pada berbagai variasi laju pemanasan sebesar 0,13°C/detik, 0,16°C/detik, 0,21°C/detik, 0,27°C/detik, dan 0,29°C/detik dengan temperatur yang sama yaitu sebesar 500°C.

Penelitian juga dilakukan pada berbagai variasi temperatur, dari 100°C hingga 500°C dengan laju pemanasan sebesar 0,16°C/detik. Waktu yang dibutuhkan untuk proses ini adalah 2 jam untuk setiap proses pirolisis. Setelah proses pirolisis selesai, arang yang dihasilkan yang tersisa dalam *furnace* kemudian ditimbang untuk diketahui massa arangnya dan diukur volumenya. Selain itu, arang hasil pirolisis ini diuji nilai kalornya dengan menggunakan bomb kalorimeter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang dihasilkan dari penelitian ini adalah volume dan massa sebelum dan setelah pirolisis. Selain itu, penelitian ini juga menghasilkan visualisasi arang yang dihasilkan dari proses pada variasi temperatur dan variasi laju pemanasan. Pada akhir proses, arang yang dihasilkan dari masing-masing proses pirolisis pada temperatur dan laju pemanasan yang berbeda-beda tersebut diukur nilai kalornya.

Penelitian ini diawali dengan pengujian pirolisis biomassa kotoran sapi dengan temperatur konstan sebesar 500°C dengan laju pemanasan yang berbeda.



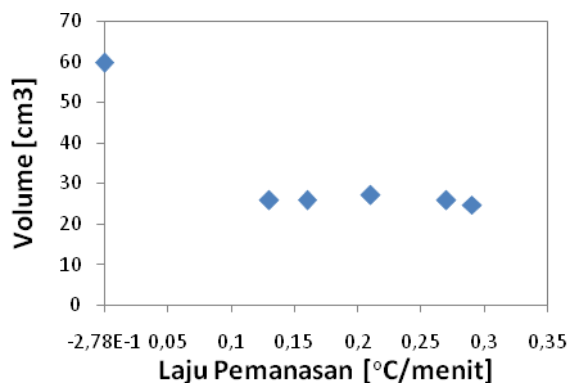
Gambar 2. Arang pada berbagai variasi laju pemanasan menunjukkan kualitas arang yang sama

Dari pengamatan ini, dapat dilihat pada gambar 2 (visualisasi) bahwa belum ada perbedaan yang signifikan pada hasil arang yang diproduksi oleh proses pirolisis. Pada laju pemanasan yang berbeda, warna arang yang dihasilkan sama. Hal ini menunjukkan bahwa laju pemanasan tidak berpengaruh terhadap warna pengarangan kotoran sapi. Pada laju pemanasan yang berbeda, proses dekomposisi komponen kotoran sapi adalah sama. Hal ini dapat diketahui bahwa mayoritas komponen kotoran sapi adalah

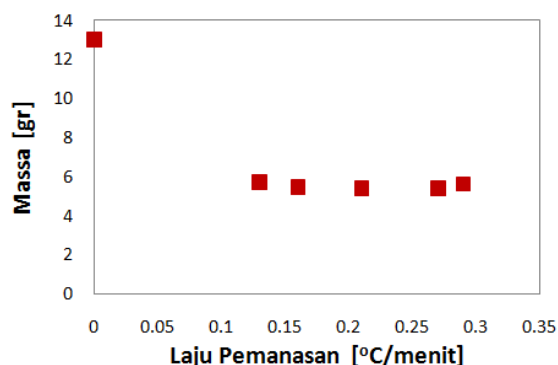
cellulose yang terdegradasi bersama dalam rentang temperature 250-350°C.

Adapun hasil reduksi volume kotoran sapi menjadi arang dapat diketahui dari gambar 3 berikut, dimana kotoran sapi masih dipirolisis pada temperatur yang sama dengan laju pemanasan yang berbeda. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa reduksi volume terjadi setelah dipirolisis. Laju pemanasan 0 menunjukkan proses sebelum dipirolisis, sedangkan laju pemanasan di atas 0,13°C/detik merupakan laju pemanasan pirolisis. Reduksi volume awal dan akhir terjadi pada proses pirolisis ini, namun perbedaan laju pemanasan tidak menunjukkan pengaruh reduksi volume pada proses.

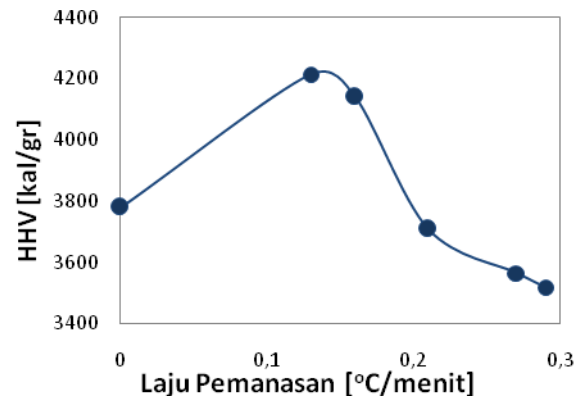
Begitu juga bila dilihat gambar 4. yang menunjukkan reduksi massa dari spesimen. Reduksi massa menunjukkan tren yang sama dengan reduksi volume pada proses pirolisis. Selanjutnya, perbedaan yang signifikan terjadi pada nilai kalor yang dihasilkan pada perbedaan laju pemanasan ini.



Gambar 3. Reduksi volume kotoran sapi dengan perbedaan laju pemanasan



Gambar 4. Reduksi massa kotoran sapi dengan perbedaan laju pemanasan

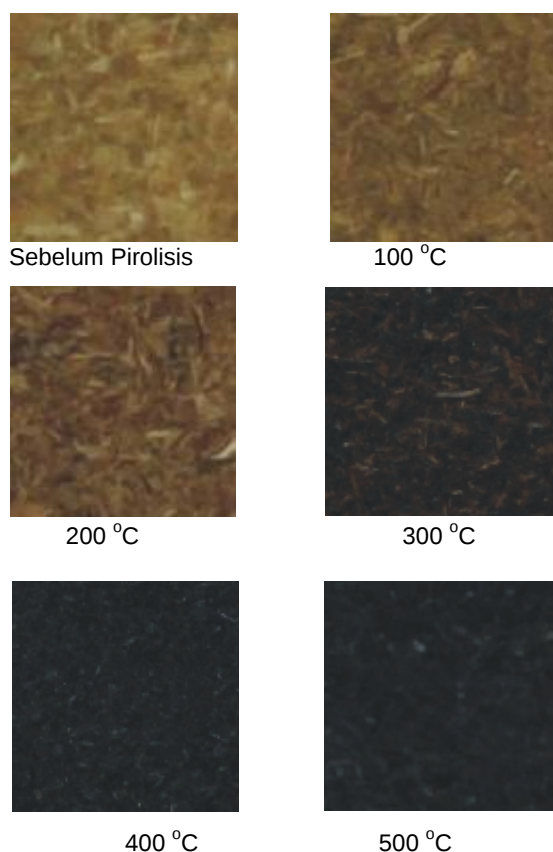


Gambar 5. Nilai kalor biomassa kotoran sapi pada perbedaan laju pemanasan.

Dari gambar 5 terlihat bahwa besarnya laju pemanasan sangat berpengaruh terhadap kenaikan nilai kalor arang kotoran sapi. Kenaikan nilai kalor terjadi sangat signifikan setelah pirolisis. Hasil nilai kalor yang paling tinggi didapatkan pada range laju pemanasan 0,13 °C/detik dan 0,16 °C/detik. Setelah itu, nilai kalor menunjukkan penurunan bahkan lebih rendah bila dibandingkan sebelum pirolisis. Setelah proses pirolisis, penurunan nilai kalor terjadi seiring dengan semakin cepatnya laju pemanasan. Semakin cepat laju pemanasan maka nilai kalornya akan semakin kecil hal ini disebabkan karena seiring dengan kenaikan laju pemanasan pada pirolisis lambat memberikan massa arang yang cenderung semakin sedikit, karena gas yang dikeluarkan semakin banyak.

Berdasarkan hasil tersebut, maka perlu dilakukan pengamatan reduksi volume dan arang pada variasi beda temperatur dengan menggunakan laju pemanasan yang sama sebesar 0,16°C/detik. Pemilihan laju pemanasan sebesar 0,16°C/detik didasarkan pada alasan dimana laju pemanasan ini adalah laju pemanasan yang optimum untuk dapat menghasilkan arang dengan nilai kalor yang tinggi.

Berikut adalah hasil penelitian yang dilakukan dengan menggunakan laju pemanasan yang paling optimum. Bisa dilihat bahwa gambar 3 menunjukkan perbandingan padatan hasil pirolisis dengan berbagai variasi temperatur.



Gambar 6. Arang hasil pirolisis pada beda temperatur menunjukkan perbedaan kualitas arang

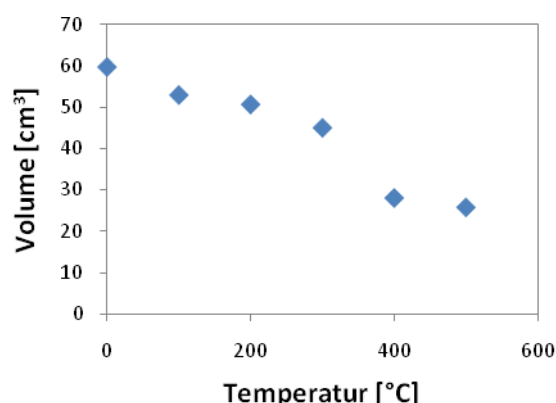
Perbedaan padatan hasil pirolisis dapat dianalisa secara visual dengan melihat perbedaan warna dari spesimen yang divisualisasi. Dari hasil yang didapat menunjukkan bahwa spesimen sebelum dipirolisis berwarna coklat terang dan spesimen yang dipirolisis 100°C berwarna lebih coklat. Hal tersebut terjadi karena spesimen yang belum dipirolisis masih mengandung kadar air sebesar 4%, sedangkan spesimen yang dipirolisis 100 °C kadar airnya 0% atau lebih kering dari sebelumnya.

Pada temperatur 200°C warna spesimen tersebut menjadi coklat gelap. Hal itu dikarenakan hanya sebagian hemiselulosa yang terdekomposisi. Dan pada temperatur 300°C hemiselulose spesimen telah terdekomposisi sepenuhnya yang ditandai dengan warna spesimen hasil pirolisis berwarna coklat lebih gelap daripada temperatur 200°C. Sedangkan lignin dan selulosa belum sepenuhnya terdekomposisi. Sehingga char yang terbentuk masih sedikit. Char tersebut bercampur dengan biomassa yang belum terdekomposisi sehingga hasil warnanya coklat gelap.

Namun saat temperatur 400°C, warna dari spesimen berubah menjadi hitam. Warna

hitam sendiri menunjukkan bahwa spesimen hasil pirolisis sudah menjadi char. Pada tahap ini hanya lignin yang belum sepenuhnya terdekomposisi. Untuk pirolisis dengan temperatur 500°C, padatan hasil pirolisis lebih hitam. Hal tersebut mengindikasikan bahwa komponen-komponen biomassa telah terdekomposisi sepenuhnya, dan menyisakan char sebagai hasil padatan (*solid residue*).

Sedangkan reduksi volume kotoran sapi hasil pirolisis dapat dilihat pada gambar 7. Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur sangat mempengaruhi reduksi volume pada kotoran sapi.



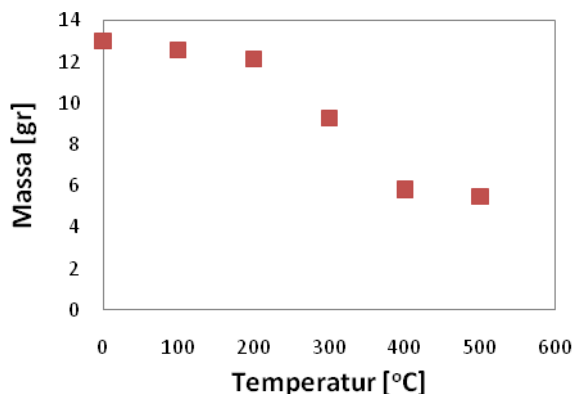
Gambar 7. Reduksi volume kotoran sapi pada perbedaan temperatur pirolisis

Semakin tinggi temperature pirolisis, maka reduksi volume kotoran sapi semakin besar. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa reduksi volume kotran sapi pada temperature maksimal (500°C) pada penelitian ini adalah reduksi volume kotoran sapi yang dapat mencapai hingga 60%.

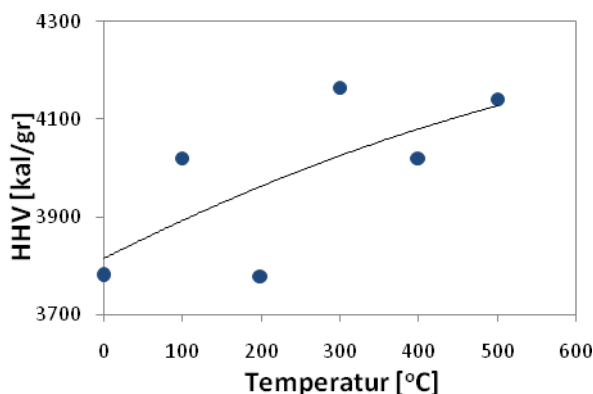
Kecenderungan yang sama juga terjadi pada reduksi massa kotoran sapi. Dari gambar 8 di bawah ini terlihat bahwa temperatur pirolisis berdampak signifikan terhadap hasil pirolisis. Semakin tinggi temperatur pirolisis maka semakin besar pula pengurangan massa spesimennya. Sebaliknya, pada temperatur yang lebih rendah, pengurangan massanya lebih sedikit.

Pada saat temperatur pirolisis 100°C pengurangan massa yang terjadi sangat sedikit karena pada temperatur tersebut, panas hanya dapat menguapkan kadar air yang terkandung dalam spesimen tanpa mengalami dekomposisi pada komponen-komponen spesimen. Sedangkan pada temperatur pirolisis 500°C mengalami pengurangan massa yang paling besar, karena komponen-komponen spesimen mengalami dekomposisi termal menjadi bentuk cair, gas dan padat,

sehingga massa padatan yang tersisa tentunya lebih sedikit akibat dikurangi oleh hasil pirolisis dalam bentuk cair dan gas.



Gambar 8. Grafik hubungan temperatur pirolisis dan massa tersisa spesimen



Gambar 9. Nilai kalor spesimen pada variasi temperatur pirolisis

Peningkatan kualitas arang kotoran sapi terlihat pada gambar 9 yang menunjukkan hasil pengujian nilai kalor biomassa kotoran sapi sebelum dan setelah dipirolisis pada berbagai variasi temperatur. Secara umum biomassa yang dipirolisis dengan temperatur 100°C - 500°C selama 2 jam memiliki nilai kalor yang lebih tinggi 6-10% dibandingkan biomassa yang tidak dipirolisis. Hal tersebut terjadi karena saat dipirolisis terjadi dekomposisi komponen biomassa menjadi arang, tar dan gas. Arang yang merupakan hasil padatan pirolisis mengandung *fixed carbon* yang nantinya akan menaikkan nilai kalornya. Semakin tinggi temperatur pirolisisnya, maka semakin sedikit arang yang terbentuk, namun kandungan *fixed carbon*nya semakin tinggi, sehingga nilai kalornya akan semakin tinggi pula. Tetapi, pada titik tertentu terjadi penurunan nilai kalor. Penurunan tersebut dikarenakan beberapa hal, diantaranya karena *holding time* (temperatur pirolisis) yang dibutuhkan oleh

unsur-unsur dalam kotoran sapi setiap variasi yang tidak sama, sehingga mengakibatkan belum terdekomposisinya seluruh komponen spesimen tersebut. Selain itu, kemungkinan adanya oksigen yang masuk atau oksigen yang masih terjebak di dalam *furnace* akan memicu terjadinya reaksi oksidasi sehingga meninggalkan abu yang akan mengurangi nilai kalornya.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Reduksi volume kotoran sapi untuk penghematan lahan *landfill* kotoran dapat dilakukan secara signifikan bila menggunakan metode slow pirolisis.
2. Reduksi volume terjadi sangat signifikan bila proses pirolisis dilakukan pada temperatur yang tinggi dimana pada penelitian ini reduksi volume dapat mencapai hingga 60% apabila proses pirolisis berada pada setting temperatur 500°C.
3. Laju pemanasan yang berbeda tidak menunjukkan hasil reduksi kotoran sapi, namun menunjukkan perbedaan nilai kalor pada arang yang dihasilkan. Laju pemanasan optimal terjadi pada 0,16°C/detik.
4. Pada temperatur pirolisis yang semakin tinggi, warna arang yang dihasilkan semakin hitam yang menunjukkan kualitas arang dimana kadar C yang terbentuk tinggi, sehingga nilai kalor arang semakin besar dimana penelitian ini menunjukkan kenaikan nilai kalor hingga 10% untuk temperatur 500°C.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bock, B. 2006. Feasibility of Renewable Energy from poultry litter in the TVA Region. EPRI, Palo Alto, CA and Tennessee Valley Authority. Muscle Shoals, AL. 1010486.
- [2] Funazukuri, T., R. Hudgins and P. Silveston. 1986. Product distribution in pyrolysis of cellulose in microfluidized bed. J. Anal. Pyrolysis. Vol. 9: 139-158.
- [3] Tanoue, K., Widya, W., Yamasaki, K., Kawanaka, T., Yoshida, A., Nishimura, T., Taniguchi, M., Sasauchi, K., 2010., Numerical Simulation of the thermal conduction of packed bed of woody biomass particles accompanying volume reduction induced by pyrolysis, J. Jpn. Inst. Energy, 89 (10), 948.

- [4] Tanoue, K., T. Hinauchi, T. Oo, T. Nishimura, M. Taniguchi, and K. Sasauchi.,2007., Modeling of heterogeneous chemical reactions caused in pyrolysis of biomass particles, *Advanced Powder Technology* 18, 825-840.
- [5] Samy Sadaka., 2007., Pyrolysis. Department of Agricultural and Biosystems Engineering Iowa State University. Nevada.
- [6] Wijayanti, W.,2012., Visualisasi Laju Penurunan Volume Biomasa Yang Dipengaruhi Oleh Temperatur Pirolisis, *Prosiding KNEP*, Bali.