

Analisa *thermogravimetry* pada pirolisis limbah pertanian

Yulius Widiardi Pratomo Wiyoto¹, Eko Prasetyo Budiana², Dwi Aries Himawanto²

¹Program Sarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta tlp. 0271632163

²Staff Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta tlp. 0271632163
Email korespondensi: budiana.e@gmail.com

Abstrak

Potensi biomassa untuk memasok jumlah energi bermanfaat yang jauh lebih besar dengan dampak lingkungan yang berkurang. Pirolisis dan proses konversi termokimia lainnya menawarkan kesempatan penting untuk pemanfaatan biomassa dan limbah. Pirolisis biomassa dapat digambarkan sebagai dekomposisi termal langsung dari bahan dengan tidak adanya oksigen untuk memperoleh sederetan produk padat (*char*), cairan (*tar*) dan gas. Pirolisis limbah pertanian dihasilkan komponen *tar*, *char* dan organik. Perilaku termal biomassa terpilih seperti jerami padi, kulit ketela pohon, sekam padi, debu dan tongkol jagung diteliti menggunakan penganalisis termogravimetrik (TGA). *Thermogravimetry* telah terbukti menjadi alat yang berguna untuk menjelaskan dekomposisi berbagai bahan biomassa. Dalam penganalisis termogravimetri ada RS Key dan Adam Utility untuk mengkonversi data dari TGA ke komputer. Berat sampel yang digunakan 20 gram dengan laju pemanasan 15 oC / menit, suhu maksimal 600 oC, waktu penahanan 10 menit dan irigasi dengan nitrogen gas 100 ml / menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses pengeringan terjadi penurunan berat residu residu berturut-turut 5,35%, 9,28%, 12,91%, 7,83% dan 7,82% dan volatile matter pada jerami padi: 53,16% Kulit singkong: 60,28%, sekam padi: 48,24%, debu gergaji: 64,32% dan tongkol jagung: 66,71%.

Kata kunci: thermogravimetry analysis, pyrolysis, biomass, agricultural

Abstract

The potential for biomass to supply much larger amounts of useful energy with reduced environmental impacts. Pyrolysis and other thermochemical conversion processes offer an important opportunity for utilization of biomass and waste. Pyrolysis of biomass can be described as the direct thermal decomposition of the material in the absence of oxygen to obtain an array of solid (*char*), liquid (*tar*) and gas products. Pyrolysis agricultural waste are produced *tar*, *char* and organic component. The thermal behaviour of selected biomass as rice straw, cassava peel, rice husk, saw dust and corncob was investigated using a thermogravimetric analyzer (TGA). *Thermogravimetry* has proved to be a useful tool in elucidating the decomposition of various biomass material. In thermogravimetric analyzer have RS Key and Adam Utility to convert data from TGA to computer. Sampel weight used 20 gram with heating rate 15 °C/min, maximal temperature 600 °C, holding time 10 minute and irrigated with 100 ml/min gas nitrogen. Result in this research indicates that drying process occur loss weight agricultural residu consecutive 5,35 %, 9,28 %, 12,91 %, 7,83 % and 7,82% and volatile matter in rice straw: 53,16 %, cassava peel: 60,28 %, rice husk: 48,24 %, saw dust: 64,32 % and corncob: 66,71 %.

Keywords: thermogravimetry analysis, pyrolysis, biomass, agricultural.

1. Pendahuluan

Biomassa merupakan sumber energi utama jutaan manusia di dunia, akan tetapi penggunaannya menurun ketika batubara, minyak dan gas tersedia cukup melimpah. Namun akhir-akhir ini perhatian muncul kembali karena terjadinya krisis energi dan isu-isu lingkungan. Pemanfaatan biomassa untuk menggantikan bahan bakar fosil dapat menurunkan persoalan CO₂ global.

Biomassa dapat didefinisikan sebagai materi hidrokarbon yang terutama terdiri dari karbon, hidrogen, oksigen dan nitrogen. Belerang juga dihasilkan tapi dalam jumlah yang sedikit. Beberapa tipe biomassa juga membawa proporsi yang signifikan pada spesies anorganik. Proses pirolisis

merupakan salah satu teknologi alternatif yang dikembangkan pada beberapa bidang dalam ilmu kimia. Salah satunya adalah untuk mengisolasi senyawa kimia yang kemudian dapat dikonversi menjadi sumber energi hidrokarbon alternatif. Biomassa terdiri dari tiga komponen utama yaitu hemiselulosa, selulosa dan lignin. Karakteristik dari tiga komponen pokok biomassa itu adalah hemiselulosa terdekomposisi antara temperatur 220 – 320 °C, selulosa terdekomposisi setelah hemiselulosa yaitu antara 250 – 360 °C dan untuk lignin karena mempunyai sifat yang berbeda dengan dua komponen diatas sehingga terdekomposisi secara merata antara temperatur hemiselulosa dan selulosa terdekomposisi tetapi dalam jumlah yang sedikit yaitu antara temperatur 180 – 500 °C [1].

[2] telah melakukan penelitian tentang pirolisis biomassa untuk menghasilkan bahan pertanian dan bahan kimia. Pirolisis merupakan dekomposisi termal matrik organik secara langsung tanpa oksigen untuk menghasilkan cairan (*tar*), gas dan padatan (*char*). Pirolisis berdasarkan temperatur akhir, *heating rate* dan *holding time* dibedakan menjadi pirolisis lambat (*slow pyrolysis*) dan pirolisis cepat (*fast pyrolysis*). Cairan hasil pirolisis adalah campuran antara *oxygenated aliphatic* dan senyawa aromatik, gas pirolisis terdiri dari CO₂, CO, CH₄, H₂, C₂H₆, C₂H₄, dan uap air, dan fraksi padatan terdiri dari abu bahan-bahan anorganik, padatan organik dan residu karbon.

[3] dalam penelitiannya mengenai pirolisis bahan *lignocellulosic* biomassa melalui pirolisis selulosa, hemiselulosa dan lignin. Selulosa terurai pada kisaran temperatur 280 – 360 °C dengan laju dekomposisi tertinggi pada temperatur 339 °C dan total residu yang berupa padatan pada temperatur 500 °C dan 800 °C masing-masing 10,7% dan 7,4% berat. Xylan terdekomposisi pada temperatur 200-320 °C, dan terdapat dua puncak yaitu temperatur 246 °C dan 295 °C, residu xylan pada 500 °C dan 800 °C mempunyai berat masing-masing 30% dan 25%. Lignin terdekomposisi antara 140 – 600 °C residu lignin pada 500 °C dan 800 °C sebesar 53,4% dan 41,2 % berat.

[4] yang melakukan penelitian mengenai karakteristik *thermogravimetric analysis* (TGA) dan macro TGA biomassa dan campuran. Dengan laju pemanasan 5, 20 dan 100 K/menit menunjukkan karakteristik yang mirip, sampah kopi terdekomposisi pada temperatur 200 °C diikuti oleh kayu dan kayu bekas kemudian kertas glossy pada 250 °C hasil char rata-rata pada laju pemanasan 5 K/menit adalah 70%, pada 20 K/menit meningkat sampai 104% dan peningkatan 109% pada 100 K/menit.

[5] dan Bamgboy telah melakukan penelitian tentang pirolisis limbah rumah tangga dengan sampel seberat 12 kg dan menghasilkan 52,2% tar, 25,2% char dan 22,6% gas. Rata-rata energi yang terkandung dari produk adalah 89.89 MJ untuk *char*, 151.66 MJ untuk *tar* and 4.03MJ untuk gas. Pirolisis dilakukan pada temperatur 400 °C sampai dengan 650 °C selama 4 jam [5]

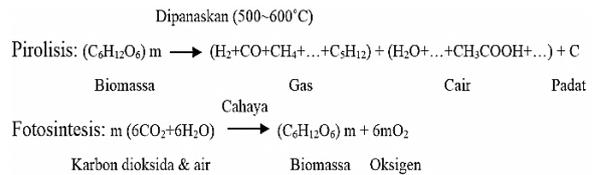
Sedangkan menurut [6] ada faktor-faktor yang mempengaruhi proses pirolisis, antara lain sebagai berikut :

1. Suhu
2. Kecepatan transfer panas
3. Waktu tinggal gas hasil pirolisis
4. Ukuran butiran

Pirolisis

Pirolisis adalah proses dekomposisi termal dari senyawa kompleks menjadi molekul yang lebih

sederhana. Gambaran singkat perbandingan pirolisis biomassa dan fotosintesis:



Komponen kimia utama dari biomassa adalah selulosa, hemiselulosa dan lignin. Gambar 2.8 menunjukkan komposisi yang berubah selama pirolisis. Selulosa, hemiselulosa dan lignin terdekomposisi seiring dengan kenaikan suhu. Residu padat adalah arang dengan hasil antara 10% sampai 25%.

Selama pirolisis, kelembaban menguap pertama kali (100 °C), kemudian hemiselulosa terdekomposisi (200-260 °C), diikuti oleh selulosa (240-340 °C) dan lignin (280-500 °C). Ketika suhu mencapai 500 °C, reaksi pirolisis hampir selesai. Oleh karena itu, pada laju pemanasan 10 °C/detik, pirolisis selesai dalam 1 menit, atau pirolisis selesai dalam 5 detik pada 100 °C/detik. Semakin tinggi laju pemanasan semakin mempercepat pembentukan produk yang mudah menguap, meningkatkan tekanan, waktu tinggal yang pendek dari produk yang mudah menguap didalam reaktor, dan hasil produk cair yang lebih tinggi dinamakan pirolisis cepat atau pirolisis kilat.

Keseimbangan suhu adalah yang paling sering digunakan di laboratorium untuk studi dasar. Jumlah contoh yang sangat sedikit, sekitar beberapa mg sampai puluhan mg, dipanaskan dari suhu kamar sampai suhu yang diinginkan pada tingkat pemanasan yang diinginkan untuk mengukur perubahan berat. Cairan, gas dan arang diperoleh dengan pirolisis. Cairan memiliki kelembaban tinggi yang berasal dari kelembaban asli (80-40%) dan air yang dihasilkan (14-17%), dan itu merupakan campuran air dan bahan organik polar. Nilai pemanasannya yang lebih tinggi adalah sekitar 12,5-21 MJ/kg. Hubungan antara viskositas dan nilai pemanasan cairan, kadar air tinggi menghasilkan viskositas rendah dan nilai pemanasan yang lebih rendah. Selain itu, cairan tersebut tidak stabil dan diperlukan pengembangan. Gas pirolisis memiliki banyak CO₂, dan CO, H₂, C1-5 hidrokarbon sebagai gas yang mudah terbakar. Arang memiliki nilai pemanasan yang paling tinggi, yaitu 32 MJ/kg dan cocok sebagai bahan baku untuk karbon aktif. Namun, semua arang dapat digunakan sebagai sumber panas untuk sistem pirolisis.

Beberapa parameter yang berpengaruh pada proses pirolisis antara lain temperatur akhir, *heating rate*, *holding time*, ukuran partikel, dan kepadatan partikel. Pirolisis menurut temperatur akhir, *heating rate*, dan *holding time* dibedakan menjadi 3 yaitu *flash pyrolysis*, *fast pyrolysis*, dan *slow pyrolysis*,

produk yang dihasilkan juga bervariasi sesuai dengan tipe pirolisis yang dilakukan.

2. Metode

Prosedur Penelitian

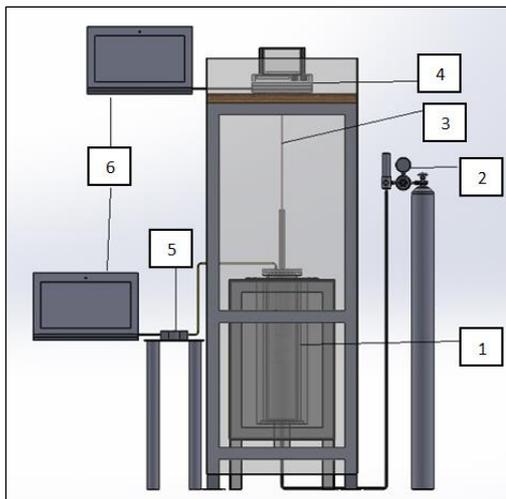
Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah pertanian yang diperoleh dari berbagai tempat di Surakarta. Limbah pertanian yang diteliti adalah jerami, kulit singkong, sekam padi, sisa gergaji kayu jati, dan tongkol jagung.

Sampel-sampel yang telah dikumpulkan dilakukan pencacahan dengan menggunakan mesin *crusher* tipe *disc mill* sampai berukuran *20 mesh*. Setelah itu masing-masing sampel dijemur dibawah sinar matahari. Sebelum dilakukan proses pirolisis sampel ditimbang sebesar 20 gram. Kemudian sampel dimasukkan ke dalam tabung pirolisis yang telah dialiri nitrogen dengan laju 100 ml/menit. Wadah sampel dikaitkan dengan timbangan digital. Setelah persiapan selesai kemudian dilakukan proses pirolisis dengan perlakuan *heating rate* 15 °C/menit, temperatur akhir 600 °C dan *holding time* 10 menit. Data yang didapat berupa penurunan massa dan perubahan temperatur dicatat dalam laptop dengan menggunakan *software RS-Key, Ms Excel* dan *Adam.NET Utility*.

Alat penelitian beserta skema alat dapat dilihat pada gambar 4.1.

Keterangan:

1. Tabung reaksi
2. Tabung nitrogen
3. Kawat penghubung
4. Timbangan digital
5. Adam utility
6. laptop



Gambar 4.1. Skema alat penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil Uji Proximate Bahan Mentah

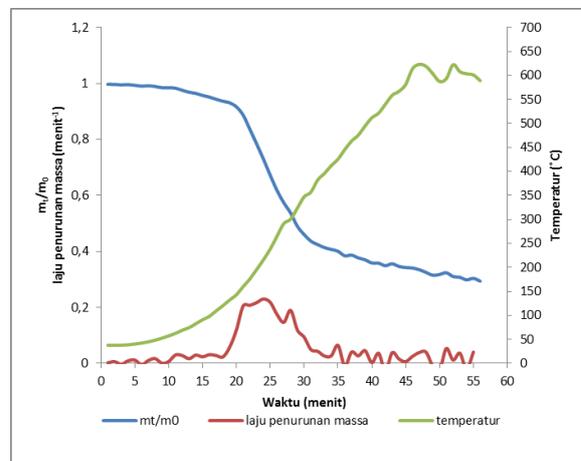
Tabel 1. menampilkan sifat-sifat dasar dari kelima sampel pada penelitian ini.

Bahan	Abu (%)	Air (%)	Volatile Matter (%)	Fixed Carbon (%)
Tongkol Jagung	13,580	3,961	61,033	21,088
Sisa Gergaji Kayu Jati	10,380	1,280	63,957	24,393
Sekam Padi	9,109	19,332	52,095	19,466
Jerami	11,177	18,178	50,385	20,251
Kulit Singkong	54,054	5,822	30,224	9,791

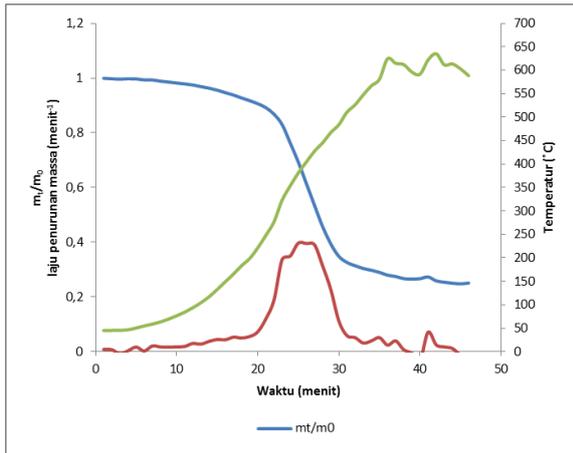
Untuk bahan *lignocellulosic* seperti limbah pertanian terdiri dari selulosa sebesar 40-80 % dari berat total, 15-30% hemiselulosa dan 10-25% yaitu lignin. TGA di gunakan untuk menentukan jumlah hemiselulosa, selulosa dan lignin dalam biomassa [8]. Sedangkan menurut [1] menjelaskan hemiselulosa terdekomposisi antara temperatur 220 dan 320 °C, selulosa terdekomposisi antara temperatur 250 dan 360 °C dan lignin mengalami dekomposisi secara bertahap antara temperatur 180 dan 500 °C. Pirolisis hemiselulosa, selulosa dan lignin dibagi menjadi dua reaksi yaitu primer dan sekunder. Untuk pirolisis primer *volatile matter* didapat langsung dari dekomposisi biomassa sedangkan pada pirolisis sekunder dilakukan *cracking* dan reaksi pemisahan yang lain untuk mendapatkan *volatile matter* yang kemudian dilakukan pirolisis [7]

Karakteristik Pirolisis

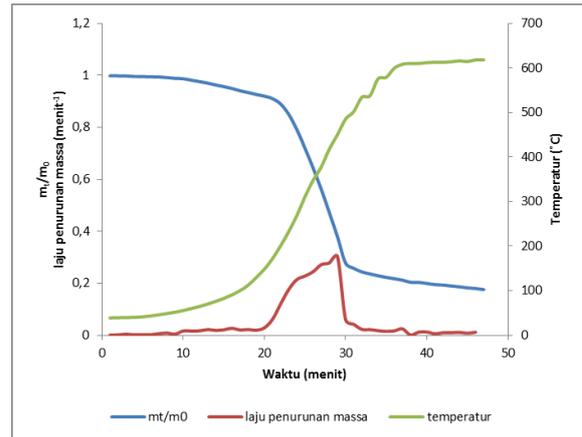
Grafik karakteristik pirolisis jerami dapat dilihat pada gambar 5.1. Terdapat 3 macam grafik karakteristik pembakaran pada gambar tersebut, yaitu : penurunan massa, laju penurunan massa dan temperatur.



Gambar 5.1. Kurva TG, DTG dan Temperatur pirolisis jerami

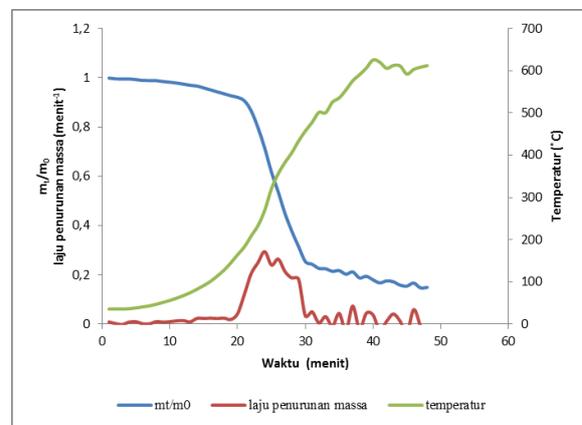


Gambar 5.2. Kurva TG, DTG dan Temperatur pirolisis kulit singkong

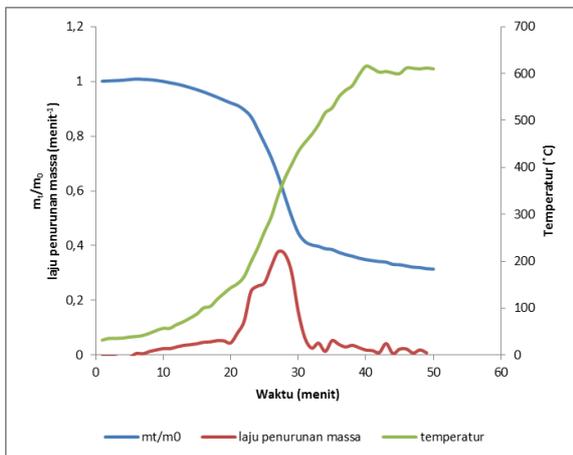


Gambar 5.4. Kurva TG, DTG dan Temperatur pirolisis sisa gergaji kayu jati

Pada gambar 5.1 terdapat kurva hasil pirolisis berupa kurva TG (biru), DTG (merah), dan temperatur (hijau) pada limbah pertanian: jerami (a), kulit singkong (b), sekam padi (c), sisa gergaji kayu jati (d), dan tongkol jagung (e). Pada pirolisis terdapat 3 tahap yaitu: pengeringan yang ditandai dengan penurunan massa yang berjalan secara lambat, Tahap kedua yaitu proses devolatilisasi yang ditandai dengan penurunan massa yang sangat tajam pada kurva TG dan puncak yang tertinggi pada kurva DTG dan Tahap ketiga adalah proses karbonasi yang ditandai dengan penurunan massa yang kembali melambat dan cenderung stabil.



Gambar 5.5. Kurva TG, DTG dan Temperatur pirolisis tongkol jagung

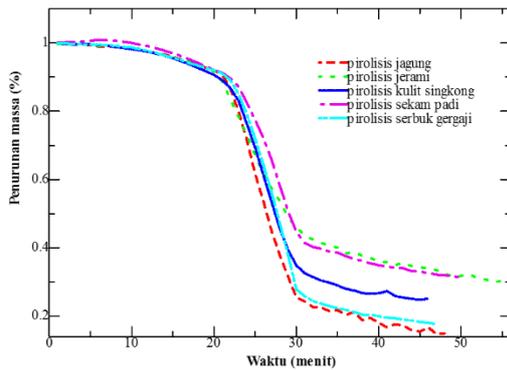


Gambar 5.3. Kurva TG, DTG dan Temperatur pirolisis sekam padi

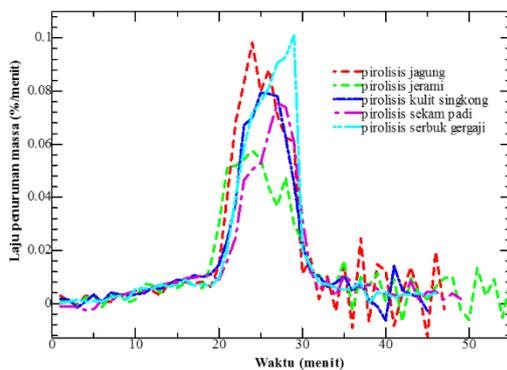
Pada gambar 5.1 terdapat proses pengeringan terjadi selama 17 menit dengan pengurangan berat sebesar 5,35% dan proses ini berlangsung sampai suhu 109,3 °C. Untuk proses devolatilisasi terjadi selama 16 menit dengan pengurangan berat sebesar 53,16% terjadi pada kisaran temperatur 109,3 °C - 395,9 °C dan terdapat tiga puncak pada kurva DTG yaitu pada temperatur 160 °C, 216,1 °C dan 300,6 °C yang di indikasikan puncak tertinggi merupakan pelepasan selulosa maksimal. Proses karbonasi terjadi antara temperatur 395,9 – 600 °C.

Pada gambar 5.6 terlihat bahwa proses devolatilisasi pada pirolisis jerami berlangsung terlebih dahulu, diikuti dengan urutan pirolisis serbuk gergaji, sekam padi, tongkol jagung dan kulit singkong yang mempunyai temperatur awal pirolisis 109,3 °C, 129,9 °C, 143,3 °C, 145,2 °C dan 183,3 °C untuk membedakan pada grafik memang sulit karena kecenderungan grafik TG pada pirolisis biomassa cenderung berhimpit. Hal itu dapat dikaitkan dengan banyaknya kandungan air dalam limbah pertanian itu sendiri yang berhubungan dengan lamanya proses pengeringan air. Semakin sedikit kandungan air

maka proses devolatilisasi akan berlangsung lebih awal.



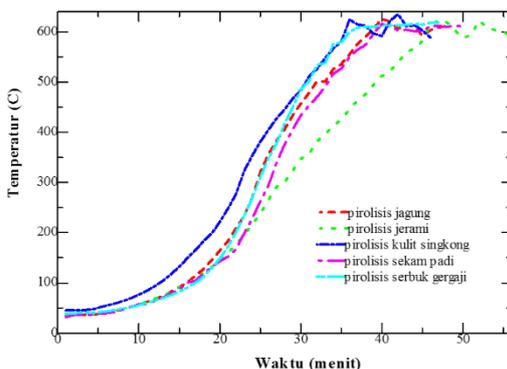
Gambar 5.6. Perbandingan karakteristik pirolisis limbah pertanian berdasarkan kurva TG



Gambar 5.7. Perbandingan karakteristik pirolisis limbah pertanian berdasarkan kurva DTG

Untuk lamanya proses devolatilisasi sendiri, pirolisis tongkol jagung dan serbuk gergaji dengan temperatur akhir pirolisis 312,1 °C dan 355,4 °C membutuhkan waktu yang paling sedikit sampai zat volatil habis, dengan waktu yang dibutuhkan 11 menit kemudian diikuti oleh pirolisis sekam padi, pirolisis kulit singkong dan jerami dengan waktu 14, 15, dan 16 menit.

Pada proses devolatilisasi laju penurunan massa menjelaskan kandungan *volatile matter* yang terdapat pada limbah pertanian. Yang mempunyai kandungan volatil terbanyak yaitu tongkol jagung (67,34 %), serbuk gergaji (64,97 %), kulit singkong (62,40 %), sekam padi (53,22 %) dan jerami (53,16 %).



Gambar 5.8. Perbandingan karakteristik pirolisis limbah pertanian berdasarkan kurva temperatur

Pada gambar 5.7 terlihat karakteristik laju penurunan massa limbah pertanian mempunyai ketinggian puncak yang berbeda-beda. Hal ini berhubungan dengan kuantitas zat volatil yang terkandung dalam briket. Semakin banyak zat volatil, laju penurunan massa saat proses devolatilisasi akan semakin tinggi. Pada kurva DTG terlihat bahwa puncak tertinggi dicapai dengan urutan serbuk gergaji, tongkol jagung, kulit singkong, sekam padi dan jerami. Semakin tinggi puncak laju penurunan massa, bahan bakar padat akan lebih reaktif. Jadi dapat disimpulkan bahwa serbuk gergaji paling reaktif diantara variabel penelitian yang lain.

Gambar 5.8 menunjukkan kulit singkong memberikan temperatur yang paling tinggi ketika memasuki proses devolatilisasi. Selama proses devolatilisasi, kulit singkong pada awalnya mempunyai temperatur yang lebih tinggi dibandingkan limbah pertanian yang lain, tetapi *overlapping* temperatur terjadi oleh serbuk gergaji selama proses devolatilisasi. Jerami memberikan karakteristik temperatur pada saat proses devolatilisasi paling rendah diantara yang lain.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pirolisis yang digunakan adalah pirolisis primer karena dilakukan langsung pada limbah pertanian.
2. Hemiselulosa terdekomposisi pada temperatur 220 – 320 °C, selulosa 250 – 360 °C dan lignin 180 – 500 °C.
3. Limbah pertanian yang membutuhkan waktu pengeringan terlama yaitu sekam padi dengan waktu 23 menit dengan pengurangan massa sebesar 12,91% dengan temperatur akhir pengeringan 198,5 °C.
4. Kandungan *volatile matter* yang terbesar yaitu tongkol jagung dengan pengurangan massa sebesar 66,71% dan membutuhkan waktu 10 menit terjadi pada kisaran temperatur 164,5 – 457,3°C.
5. Karbon yang dihasilkan terbesar yaitu jerami sebesar 41,49% terjadi pada kisaran temperatur 395,9 – 600°C.

Daftar Pustaka

- [1] F. Shafizadeh, 1977. *Fuels from Waste* (Eds L. L. Anderson and D. A. Tillman), Academic Press, New York.
- [2] S. Yaman, 2004. *Pyrolysis of biomass to produce fuels and chemical feedstocks*, Energy Conversion and Management, Elsevier; 45:651-671.

- [3] S.D. Stefanidis, K.G. Kalogiannis, E.F. Iliopoulou, C.M. Iliopoulou, P.A. Pilavachi, A.A. Lappas, 2013. *A study of lignocellulosic biomass pyrolysis via the pyrolysis of cellulose, hemicellulose and lignin*, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Paper ID : S0165-2370(13)00237-4.
- [4] A. Skreiberg, J. Sandquist, SØrum, 2011. *TGA and macro-TGA characterisation of biomass fuels and fuel mixtures*, Fuel, Elsevier; 90: 2182-2197.
- [5] S. Ojolo, S. Bamgboye, 2005. *Thermochemical Conversion of Municipal Solid Waste to Produce Fuel and Reduce Waste*, Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Vol VII. Manuscript EE 05 006.
- [6] C. Di Blasi, C. Branca, A. Santoro, E.G. Hernandez, 2001. *Pyrolytic Behavior and Products of Some Wood Varieties*, journal Combustion and Flame, Elsevier Science Inc.
- [7] D. Ferdous, A.K. Dalai, S.K. Bej, R.W. Thring, 2002. *Pyrolysis of Lignin: Experimental and Kinetics Studies*, journal Energy & Fuels, American Chemical Society; 16: 1405-1412.
- [8] M. Carrier, A. Loppinet-serani, D. Denux, J. Lasnier, F. Ham-Pichavant, F. Cansell, C. Aymonier, 2011. *Thermogravimetric analysis as a new method to determine the lignocellulosic composition of biomass*, journal Biomass and bioenergy, Elsevier; 35:298-307.