

ANALISA THERMOGRAVIMETRY PADA PIROLISIS LIMBAH PERTANIAN

¹Bagus Setiawan, ²Dwi Aries Himawanto, ³Eko Prasetyo Budiana, ⁴Purwadi Joko Widodo

¹Alumni Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret,

²Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret,

Jl.Ir. Sutami36A Surakarta

e-mail: ²dwiarieshimawanto@gmail.com

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan karakterisasi degradasi termal dari limbah pertanian untuk dijadikan suatu bahan bakar padat alternatif. Penelitian diawali dengan tahap pengumpulan bahan yang dilanjutkan penyeragaman ukuran sampel uji hingga berukuran 20 mesh. Setelah itu masing-masing sampel dikeringkan hingga kadar air maksimal 12%. Sebelum Sampel seberat 20 gram diuji pirolisis dengan menempatkan sampel dalam reaktor yang telah dialiri nitrogen dengan laju 100 ml/menit. Sampel diuji dengan kondisi 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. Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan campuran serbuk gergaji dan jerami memiliki temperatur pirolisis paling rendah, sementara campuran sekam padi dan kulit singkong memiliki massa arang paling banyak.

Kata kunci: *thermogravimetry, pirolisis, limbah pertanian*

1. Pendahuluan

Pengembangan limbah pertanian dipandang prospektif untuk dijadikan bahan bakar padat, hal ini dipicu oleh kondisi pada saat ini, dimana bahan bakar fosil yang selama ini menjadi andalan bagi kalangan rumah tangga ataupun industri telah mengalami kenaikan harga. Melihat dari kenyataan tersebut, maka limbah pertanian sangat berpotensi untuk dijadikan suatu bahan bakar padat yang relatif lebih murah dengan diolah melalui teknologi slow pyrolysis..

Dan salah satu alternatif pemecahannya adalah dengan mengolah limbah-limbah pertanian tersebut, menjadi bahan bakar padat alternatif yang kuat, murah dan memenuhi spesifikasi teknis, yaitu dengan mengintroduksikan teknologi *heated die screw extruder*, karena dengan teknologi ini dengan menentukan temperatur *die* yang tepat dan waktu pembriketan yang tepat, akan dapat dihasilkan brket dengan nilai kalor yang cukup tinggi dan kuat sebagai alternatif pengganti kayu bakar, arang ataupun batu bara. Proses yang terjadi dalam teknologi *heated die screw extruder* adalah proses pirolisis atau proses karbonisasi. Proses pirolisis secara prinsip merupakan proses konversi energi secara termokimia (*thermal decomposition*) namun tanpa ada oksigen, hasil akhir yang diperoleh adalah tar, char dan gas. Tar yang dihasilkan dapat diolah melalui proses destilasi kimiawi untuk dijadikan bahan dasar kimia ataupun diolah menjadi bahan bakar cair, sementara char yang dihasilkan dapat digunakan sebagai *refuse derived fuel* sebagai pengganti batu bara atau kayu bakar, sementara gas yang dihasilkan masih harus melalui beberapa perlakuan sebelum dapat digunakan.

Kesetimbangan antara char, tar dan gas yang dihasilkan dalam proses pirolisis tergantung pada beberapa hal diantaranya adalah kecepatan kenaikan temperatur pirolisis, temperature akhir pirolisis dan jenis biomass yang dipirolisis. Secara umum diketahui bahwa kenaikan temperatur pirolisis yang lambat (*slow pyrolysis*) akan memberikan char yang lebih banyak, dan kenaikan temperatur pirolisis yang cepat (*fast pyrolysis*) akan memberikan tar yang lebih banyak. Dari paparan diatas, tampak pentingnya untuk mengetahui proses degradasi termal dari suatu bahan sebelum pengolahan bahan tersebut menjadi bahan bakar padat dan salah satu metode untuk mengetahui karakteristik tersebut adalah dengan menggunakan metoda thermogravimetry (TGA).

Salah satu contoh penerapan analisa thermogravimetry untuk menganalisa limbah pertanian dilakukan oleh Suryadi dkk (2012) yang melakukan penelitian analisa thermogravimetry dari pirolisis kulit singkong. Kondisi bahan baku yaitu serbuk kulit singkong yang telah di keringkan dengan oven pada kondisi 110 °C selama 24 jam, setelah itu dihaluskan sampai ukuran 80-100 mesh. Kondisi pengujian thermogravimetry dengan bahan baku 10 mg, heating rate 10 °C/min, laju aliran nitrogen 70mL/min, temperatur suhu ruangan sampai 800 °C. Analisa TGA yang dikerjakan untuk menghitung karakteristik termal dari kulit singkong selama proses pemanasan. Penurunan massa meliputi pelepasan volatile matter yang diamati dari fungsi penurunan massa. Dari hasil penelitian tersebut tampak bahwa pada temperatur 30-200 °C penurunan masa disebabkan oleh kadar air yang hilang selama proses pemanasan. Pada temperatur 200-400 °C adalah temperatur terjadinya pirolisis dimana terjadinya penguraian selulos, hemiselulosa dan lignin.

Sementara itu, Stylianos dkk (2013) yang melakukan penelitian tentang studi dari lignocellulosic pirolisis biomassa dengan pirolisis dari selulosa, hemiselulosa dan lignin. Kurva penurunan berat dan turunan penurunan berat sampel biomasa terseleksi di berikan pada gambar 2.3. Sebagaimana dapat dilihat, selulose terurai dengan kisaran suhu antara 280 °C dan 360 °C dengan laju penguraian tertinggi yang sedang di amati terjadi pada suhu 339 °C dan untuk total residu padatan pada 500 °C dan 800 °C masing-masing antara 10,7% dan 7,4% berat. Kisaran temperatur dekomposisi yang tak terdefinisi dengan baik disebabkan oleh selulosa mempunyai struktur kristal tidak bercabang yang homogen yang terkait unit D-glukosa. Xylan disisi lain, yang mana merupakan polisakarida, mengalami dekomposisi pada temperatur yang lebih rendah, kisaran temperatur lebih lebar antara 200 °C dan 320 °C, dengan dua puncak, yaitu pada suhu 246 °C dan 295 °C. Kisaran temperatur dekomposisi yang paling rendah dari xylan disebabkan oleh strukturnya, yang mana adalah tak berbentuk dengan banyak unit cabang yang mempunyai energi aktivasi yang rendah. Residu xylan pada 500 °C dan 800 °C secara signifikan lebih tinggi daripada selulosa, masing-masing sekitar 30 dan 25% berat. Lignin terurai diatas kisaran suhu yang sangat lebar, dari 140 °C sampai 600 °C, dengan intensitas rendah puncak sekitar suhu 380 °C. Residu lignin pada suhu 500 °C adalah yang tertinggi pada saat diamati, sekitar 53,4% berat dan pada suhu 800 °C residu memiliki berat 41,2% berat. Hasil residu yang tinggi ini disebabkan pada struktur lignin, yang mana terdiri dari jaringan kompleks dari senyawa aromatik adalah sangat sulit untuk terdekomposisi dan oleh karena itu memiliki stabilitas termal yang tinggi.

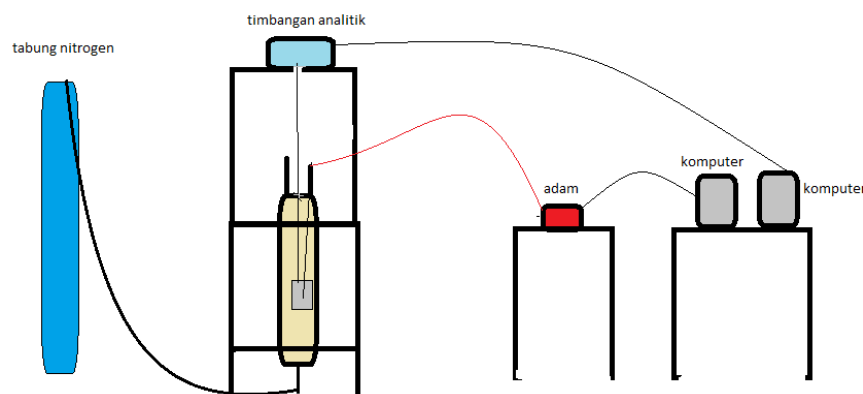
2. Metode

2.1 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah pertanian yang sudah dicampur yaitu sekam-jerami, sekam-singkong, sekam-tongkol jagung, sekam-grajen, jerami-singkong, jerami-tongkol jagung, jerami-grajen, singkong-tongkol jagung, singkong-grajen, grajen-tongkol jagung.

2.2 Peralatan

Alat uji pirolisis yang digunakan dalam penelitian ini model fixed bed, yang dilengkapi dengan *thermocontroller* berdaya 1000 W dengan kisaran temperatur *thermocontroller* sampai dengan 1000 °C, seperti terlihat dalam gambar 1.



Gambar 1: Skema Peralatan Penelitian

2.3 Cara Pengambilan Data

Tahap pertama dalam penelitian ini adalah tahap pengumpulan bahan yang dilanjutkan penyeragaman ukuran sampel uji dengan menggunakan mesin *crusher* tipe *disc mill* sampai berukuran 20 *mesh*. Setelah itu masing-masing sampel dikeringkan hingga kadar air maksimal 12%. 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*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Uji Proximate Bahan Baku

Dalam tabel 1 disajikan hasil uji proximate bahan baku sampel uji.

Tabel 1: Hasil uji proximate bahan baku

Bahan	Abu (%)	Air (%)	Volatile Matter (%)	Fixed Carbon (%)
Tongkol Jagung	13,584	4,295	61,033	21,088
Sisa Gergaji Kayu Jati	10,414	1,236	63,957	24,393
Sekam Padi	9,202	19,237	52,095	19,466
Jerami	11,207	18,157	50,385	20,251
Kulit Singkong	54,106	5,879	30,224	9,791

Dari tabel uji proksimat diatas dapat dilihat untuk jerami kadar volatile matter sekitar 50,38-51,37% dari berat sampel jerami, hasil tersebut mendekati hasil penelitian Shafizdeh (1985) yaitu sebesar 66,6% dengan kandungan lignin 11,9%, hemiselulosa 24,5% dan selulosa 30,2%. Sementara untuk tongkol jagung, kandungan volatile matter sekitar 61,03-61,32% dari berat sampel yang bersesuaian dengan penelitian Yanik (2007) yang menyatakan kadar volatile matter tongkol sebesar 66,8% dengan kadar lignin 31,7%, hemiselulosa 3,4% dan selulosa 31,7%. Sedangkan untuk kulit singkong, kadar volatile matter sekitar 30,22-30,16% dari berat sampel. Hasil tersebut berbeda dengan kandungan yang diteliti oleh (Ismadji, 2012) sebesar 74,5% volatile matter

Serbuk gergaji memiliki kadar volatile matter sekitar 63.49-63.95% dari berat sampel dimana hasil tersebut bersesuaian dengan kandungan volatile matter serbuk gergaji yang diteliti oleh Di Blasi (1999) yaitu sebesar 82,6% dengan kadar lignin 19,0%, hemiselulosa 31,8% dan selulosa 31,8%. Dan terakhir, kadar volatile matter sekam padi hasil penelitian sekitar 52,09-51,69% dari berat sampel, dimana Di Blasi (1999) menyatakan kadar volatile matter sekam padi sebesar 62,9% serta mengandung lignin 14,3%, hemiselulosa 24,3% dan selulosa 24,3%.

3.2 Karakteristik Pirolisis Sampel Uji

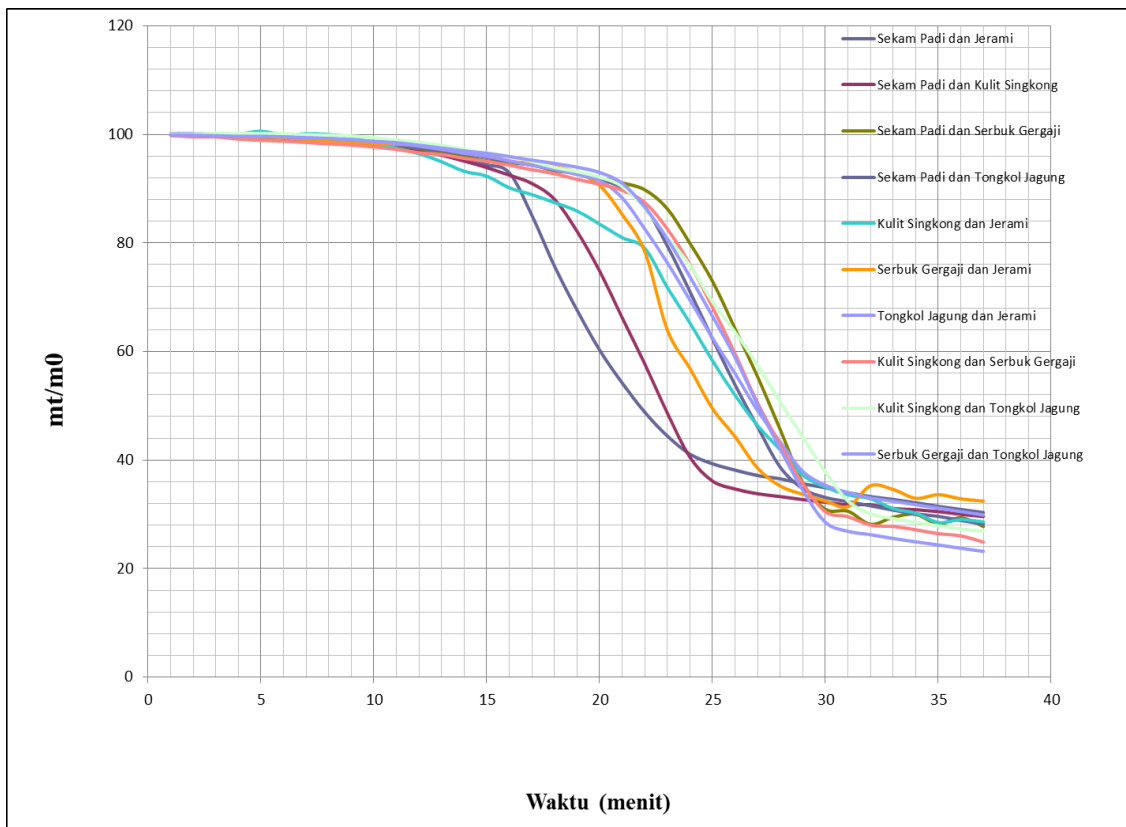
Grafik karakteristik pirolisis campuran menampilkan 3 macam grafik karakteristik pirolisis, yaitu massa, laju penurunan massa dan temperatur. Sesuai dengan teori pirolisis padatan bahwa pirolisis biomassa dibagi menjadi 3 tahap secara berurutan. Tahap yang pertama adalah pengeringan yang ditandai dengan penurunan massa yang berjalan secara lambat. Tahap kedua adalah devolatilisasi yang ditandai dengan penurunan massa yang sangat cepat. Tahap ketiga adalah karbonasi yang ditandai dengan penurunan massa yang kembali melambat.

Dalam gambar penurunan massa (gambar 2), dapat di lihat bahwa kadar air pada bahan baku campuran berkisar 8-20%. Kadar air tertinggi terdapat pada campuran kulit singkong-jerami. Massa yang hilang pada saat proses pengeringan adalah massa cairan yang terdapat pada sampel. Massa yang hilang dapat digunakan untuk menghitung kadar air. Kadar air yang didapat dari data sedikit berbeda dengan hasil uji proksimat pada tabel uji proksimat. Perbedaan hasil ini dipengaruhi oleh kondisi bahan yang

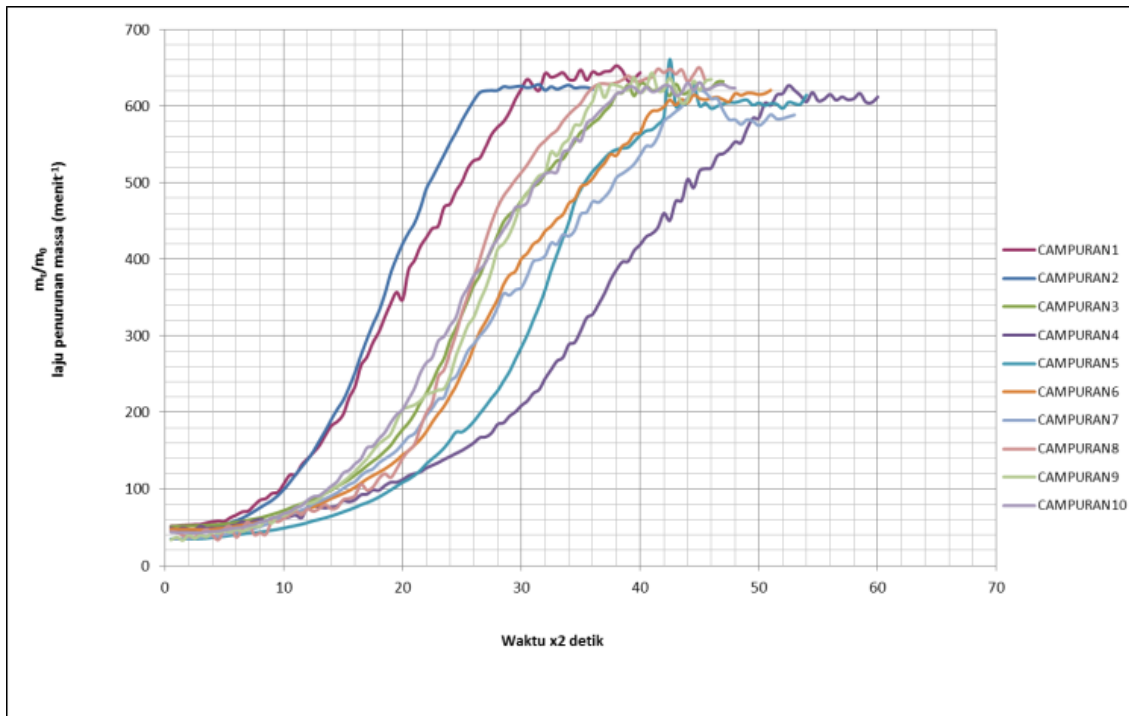
berbeda pada saat uji proksimat dengan pengambilan data. Dari gambar tersebut juga tanpa bahwa massa arang yang terbentuk dari dari sampel-sampel uji berkisar antara 20-30%. Massa arang tertinggi terdapat pada campuran sekam padi-kulit singkong yaitu 30%.

Dalam gambar 3 disajikan grafik temperatur terjadinya degradasi termal sampel. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa pada proses pengeringan dengan temperatur terendah pada campuran serbuk gergaji dan jerami yang terjadi sampai temperatur 144,7 °C. Temperatur pengeringan tertinggi terjadi pada sampel campuran sekam padi dan tongkol jagung yang terjadi sampai 398,4 °C. Proses devolatilisasi paling awal terjadi pada campuran serbuk gergaji - jerami yang terjadi pada temperatur 144,7-419,7 °C hal ini dipengaruhi oleh proses pengeringan yang lebih cepat. dilanjutkan dengan proses karbonasi sampai temperatur 600 °C.

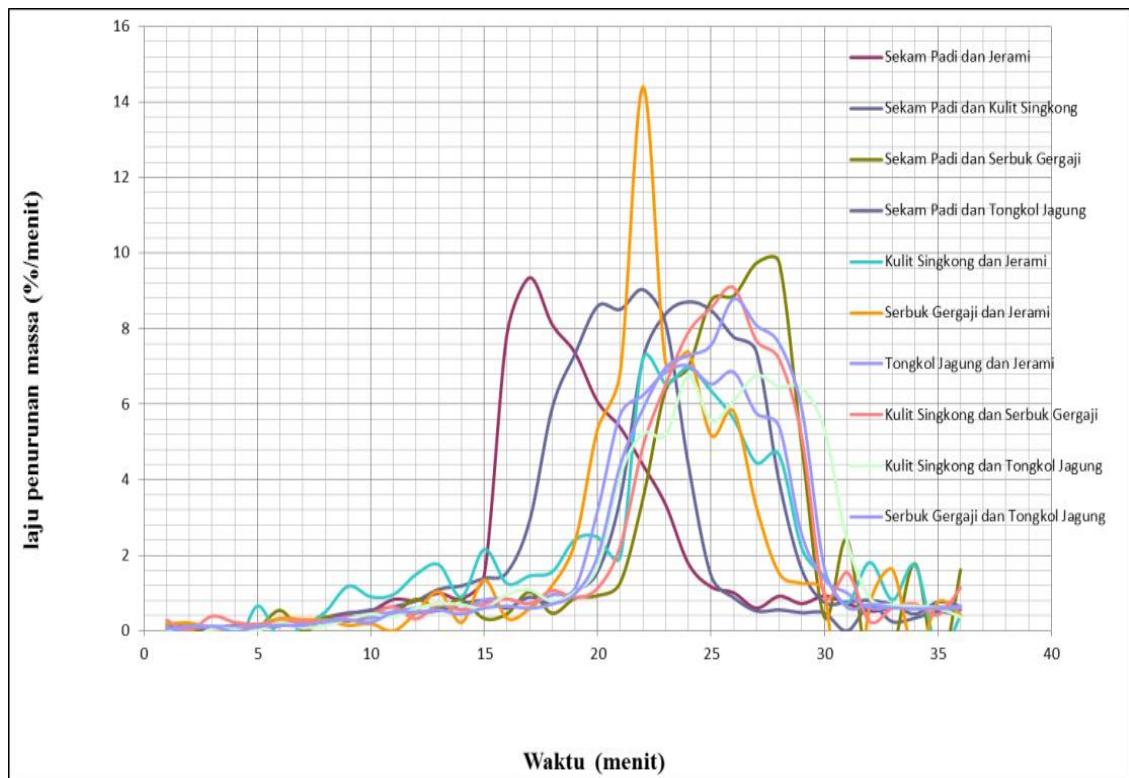
Sedangkan gambar 4 merupakan kurva laju pengurangan massa semua sampel uji, dari gambar tersebut tampak bahwa sampel campuran serbuk gergaji dan jerami mempunyai puncak laju penurunan massa paling tinggi yaitu 14,4% / menit. Puncak laju pengurangan massa terendah terdapat pada campuran kulit singkong dan tongkol jagung pada 6,755 %/menit. Cepat atau lambatnya proses devolatilisasi tergantung pada persentase volatile matter yang terkandung dalam bahan.



Gambar 2: Grafik penurunan massa sampel saat uji pirolisis



Gambar 3: Grafik suhu sampel saat uji pirolisis



Gambar 4: Grafik laju pengurangan massa sampel saat uji pirolisis

4. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan,

1. volatile matter pada bahan baku campuran berkisar 44-64%. Semakin banyak volatile matter maka arang yang terbentuk semakin sedikit. Semakin besar kadar volatile matter maka semakin mudah arang menyala dan sebagai efek sampingnya asap yang dihasilkan juga bertambah banyak.
2. campuran serbuk gergaji dan jerami memiliki temperatur pirolisis paling rendah, sementara campuran sekam padi dan kulit singkong memiliki massa arang paling banyak.

5. Ucapan Terima Kasih

Artikel ini merupakan bagian dari skema Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi yang didanai dengan Dana DIPA BLU Universitas Sebelas Maret, sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Kegiatan Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi Nomor 3385a/UN27.16/PN/2014 tanggal 3 Maret 2014

Daftar Pustaka

- ASTM Committee on Standards, 1990, Standard Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal, D 1762-84.
- Burhenne.L, 2013, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 101 (2013) 177–184
- Di Blasi, C., Branca., Santoro, A., Hernandez, E.G., 2001, Pyrolytic Behavior and Products of Some Wood Varieties, Journal Combustion and Flame, Elsevier Science Inc.
- Di Blasi, C. 2002. Modeling Intra-and Extra-Particle processes of Wood Fast Pyrolysis. AICHE Journal , 48(10)
- Di Blasi, C. ,2008, Modeling Chemical and Physical Processes of Wood and Biomass Pyrolysis, Progress in Energy and Combustion Science 34 , pp. 47-99
- Ferdous, D., Dalai, A.K., Bej, S.K., Thring,R.W., 2002, pyrolysis of Lignin: Experimental and Kinetics Studies, Journal Energy & Fuels, American Chemical Society; 16: 1405-1412.
- Gaur, S. & Reed, T., 1998, Thermal data for natural and synthetic fuels. Marcel Dekker, New York, NY.
- Grammelis,P., Basinas, P., Malliopoulou, A., Sakellaropoulos, G., 2009, Pyrolysis Kinetics and Combustion Characteristics of Waste Recovered Fuels, Fuel 88 (2009),
- Kalita,P.,Mohan,G.,Pradeep,K.,Mahanta,P. 2009, “Determination and Comparasion of Kinetic Parameter of Low Density Biomass Fuels”, Journals of Renewable and Sustainable Energy 1, 2009, 023109
- Mochidzuki, K., Sato, N., Sakoda, A., 2000, Production and Characterization of Carbonaceous Adsorbents from Biomass Wastes by Aqueous Phase Carbonization, Institute of Industrial Science, University of Tokyo, 1-8 Yayoi-cho, inage-ku, Chiba 263-0022, Japan
- 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 (2008), pp. 65-71
- Shafizadeh, F., 1977, Fuel From Waste (Eds L. L. Andreson and D. A. Tiliman), Academic Press, New York.

- Stylianou, D., Kalogiannis, Konstantinos, G., Iliopoulou, Eleni.F., Michailof, Chrysoula.M., Pilavachi, Petros.A., Lappas, Angelos.A., 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.
- Suryadi I., Yi-Hsu, Jub., Chun, Xiang., Alfin, K., Ong, L., 2012, Bio-oil from Cassava Peel: Potential Renewable Energy Source, *International Conference on Industrial Bioprocesses*
- Switthenbank, 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.
- Trossero M. A. (2002), Wood fuel use in Ghana: an outlook for the future. *Unasylav* 211, Vol. 53. Energy Commission-Renewable Energy Division
- Yokohama, Sinya., 2008, *Buku Panduan Biomassa Asia*, Japan Institute of Energy.
- Zhou, Hui., Long, YanQiu., Meng, Aihong., Li, QingHai., Zhang, YanGUO., 2013, The pyrolysis Simulation of Five Biomass Species by Hemi-cellulose, cellulose and lignin based on Thermogravimetric curve, *Thermochimica Acta*, Elsevier;30-43.