

TEKNOLOGI PIROLISIS SEBAGAI SALAH SATU ALTERNATIF BAHAN BAKAR TERBARUKAN

Syamsul Hadi ¹

Abstrak: Since the global energy crises there has been a trend towards use of alternative energy sources to replace fossil fuel worldwide . The fuel potential of many waste, biomass, and poor coals is a valuable resource and considerable interest has been devoted to it recently to exploit its potential. However, it has been found out that the energy content that could be practically recovered from that source would be a small percentage of the total energy required in any nation. This suggests that energy recovery from alternative source will only serve as a supplement to the total energy required. Pyrolytic technology among other methods is a way of harnessing the energy in these alternative sources, providing a good method without affecting the ecological system.

Kata Kunci: Pyrolysis

PENDAHULUAN

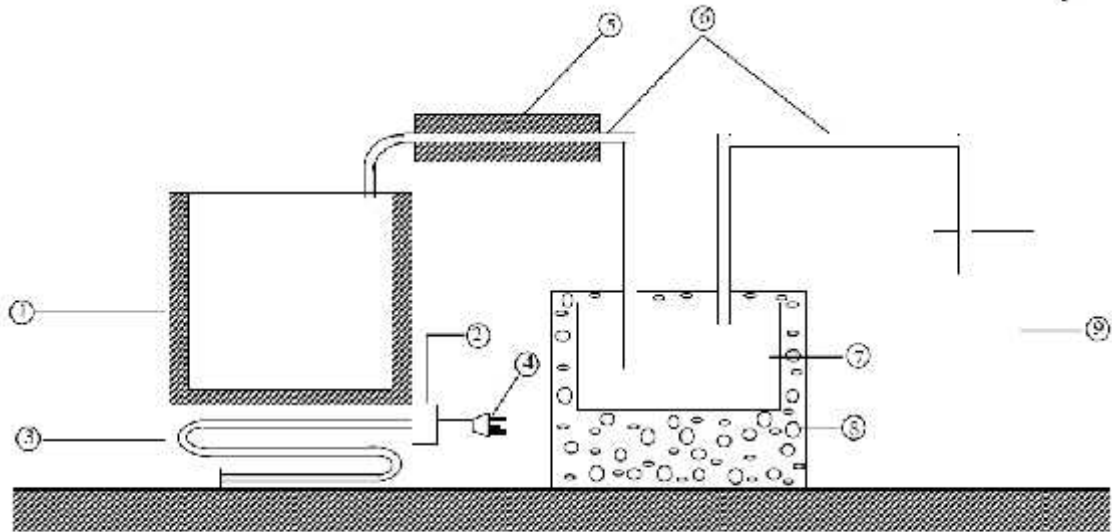
Pirolisis biomassa merupakan salah satu teknologi alternatif yang dikembangkan untuk mengisolasi senyawa kimia yang kemudian dapat dikonversi menjadi sumber energi hidrokarbon alternatif. Dengan menggunakan proses pirolisis, kayu yang mengandung selulose mengalami degradasi lignin sebagai akibat dari kenaikan temperatur sehingga dihasilkan senyawa-senyawa karakteristik sesuai dengan jenis kayu. Pada umumnya metode optimasi pirolisis dilakukan sesuai dengan tujuan pirolisis, apakah untuk menghasilkan biofuel (hidrokarbon non aromatik) atau menghasilkan senyawa aromatik. Pada proses-proses tersebut, sangat penting dikaji variasi laju pemanasan pirolisis karena laju pemanasan ini merupakan salah satu parameter penting dalam proses pirolisis. Perbedaan laju pemanasan dapat menentukan distribusi senyawa atau komponen biofuel sehingga berpengaruh pula terhadap reaksi yang terlibat dalam proses.

Analisis Termogravimetri adalah teknik analisis yang biasa digunakan untuk bahan polimeric. Percobaan tersebut tergolong sederhana yaitu sejumlah sampel, dalam kisaran miligram, ditempatkan dalam suatu tempat, kemudian diukur beratnya ketika suhu dinaikkan secara konstan. Prosedur penelitian ini dilakukan di kondisi atmosfer yang diam (N_2), meskipun secara prinsip gas lainnya juga bisa digunakan. Ketika sampel dipanaskan, sampel tersebut akan

¹ Staff Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT-Universitas Sebelas Maret Surakarta

berubah secara kimiawi, dan komponen penyusunnya akan menyusut. Jumlah degradasi volatile dan heat-induced dari polimer akan didapatkan.

Differential scanning calorimetry adalah teknik lain yang lebih powerful. Sampel dan sampel referensi ditempatkan pada tempat dan pemanasan terpisah. Daya yang digunakan untuk menjaga sampel dan referensi pada suhu tertentu di monitor. Dengan demikian perubahan entalpi karena transformasi sample, seperti pelelehan atau glass transitions dapat didapatkan. Secara garis besar model peralatan penelitian untuk pirolisis adalah seagai berikut:



1 Fibre glass; 2 Temperature control unit; 3 Heating element; 4 Power source; 5 – Lagging; 6 – Copper pipes; 7 – Condensate receiver; 8 – Ice; 9 – Gas holder.

Gambar 1. Skema alat penelitian (Goerner, 2003)

TINJAUAN PUSTAKA

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bamgboye (2005) melakukan percobaan dengan metode pirolisis pada bahan baku limbah padat sampah pemukiman (Municipal Solid Waste/MSW) untuk memproduksi bahan bakar dan mengurangi limbah tersebut. Dari fakta bahwa di Nigeria setiap tahun dihasilkan MSW sebesar $29,78 \times 10^9$ kg, dan dengan sebagian besar terdiri dari kertas, plastik, besi, dan lainnya (Ojolo, 2004), serta penanganan yang dilakukan dengan cara penimbunan (sanitary landfill) yang berpotensi mengganggu kesehatan lingkungan dan boros, memberikan alasan yang kuat bagi Bamgboye melakukan penelitian tersebut. Penelitian yang dilakukan adalah dengan mula-mula melakukan menjemur MSW selama 4-6 jam perhari selama 8 hari untuk mengurangi kandungan air sampai 8-10%. Kemudian Bamgboye menggiling MSW sehingga menjadi partikel dan memasukkannya sebanyak 12 kg ke reactor selama 4 jam pada suhu $400-650^{\circ}\text{C}$, serta laju pemanasan sebesar 1 s/g. Hasil yang didapatkan, yang berupa minyak, gas, dan char, diukur berat dan volumenya. Hasil pyrogas tersebut kemudian dianalisis sifat mampu bakarnya dengan burner Bunsen, sedangkan semua hasil diuji kandungan energy dengan formula Doulong Peti. Dari hasil analisis yang dilakukan didapatkan data bahwa dari setiap kg MSW didapatkan sebesar 0,25 kg char, 0,52 kg minyak, dan 1,09 lt pyrogas (Tabel 1). Sedangkan energy yang

terkandung dari setiap hasil adalah minyak sebesar 151,66 MJ atau 59,61% energy dari MSW dan char sebesar 89,89 MJ atau 35,33% energy dari MSW (Tabel 2). Dari penelitian juga didapatkan pengurangan volume yang terjadi selama proses pirolisis yaitu sebesar 65,79%, dan char sebesar 25% yang kemudian dapat digunakan sebagai bahan bakar (refuse-derived-fuel/RDF) seperti batubara, lihat di tabel 3.

Table 1. Products of MSW pyrolysis

Exp. No.	Wt. of MSW (kg)	Wt. of char (kg)	Wt. of tar oil (kg)	Vol. of nitrogen (l)	Operating temp. (°C)
1	10.0	2.5	5.27	0.92	500
2	11.0	2.8	5.92	0.95	550
3	12.0	3.0	5.25	1.05	600
4	12.5	3.1	5.45	1.20	600
5	13.5	2.5	5.85	1.50	650
Ave.	11.8	2.98	5.15	1.07	

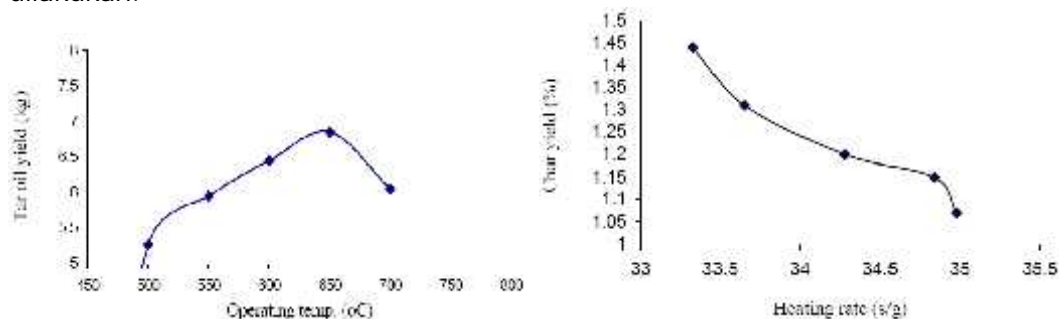
Table 2. Energy content in the products of pyrolysis, MJ

Exp. No.	Energy cont. in char (MJ)	Energy cont. in Tar oil (MJ)	Energy content in nitrogen (MJ)
1	75.40	130.17	3.37
2	81.45	116.22	3.14
3	90.48	153.38	4.15
4	93.50	138.32	4.15
5	105.56	169.20	4.76
Ave.	89.89	151.66	4.034

Table 3. MSW volume reduction after pyrolysis

Exp. No.	Duration (hr)	Operating temp. (°C)	Quantity of MSW (kg)	Residence time per unit weight (s/g)	% waste vol. Red. (v/v)
1	4	500	10.0	1.44	66.67
2	4	550	11.0	1.31	66.35
3	4	600	12.0	1.20	65.72
4	4	600	12.5	1.15	65.76
5	4	650	13.5	1.07	65.02
Ave.				1.00	65.79

Sedangkan hasil penelitian tentang pengaruh perubahan suhu terhadap tar yang dihasilkan ditunjukkan pada grafik di bawah ini. Hasil penelitian menyatakan bahwa semakin tinggi suhu akan semakin banyak tar yang dihasilkan, tetapi pada suhu 650°C hasil tar tersebut akan turun dan mencapai penurunan sebesar 11,8% pada suhu 700°C. Juga dinyatakan bahwa pembentukan char akan naik seiring dengan turunnya laju pemanasan yang dilakukan.



Gambar 2. Pengaruh suhu terhadap minyak tar dan dan laju pemanasan terhadap char (Bamgboye, 2005)

Penelitian lainnya dilakukan oleh Wahi dkk (2006) dengan menggunakan pirolisis microwave pada suhu rendah. Penelitian ini juga menganalisis limbah

pemukiman tapi berbentuk cair. Penelitian dilakukan dengan peralatan fluidized bed pyrolysis seperti skema seperti gambar berikut:

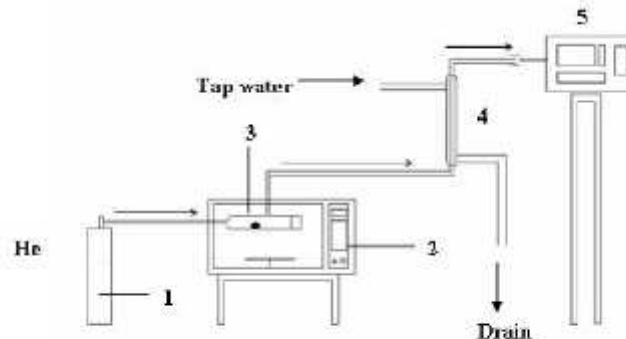


Figure 1: Schematic diagram of fluidized bed pyrolysis of sewage sludge system. 1) Helium gas tank, 2) microwave oven, 3) quartz reactor, 4) condenser, and 5) gas analyzer.

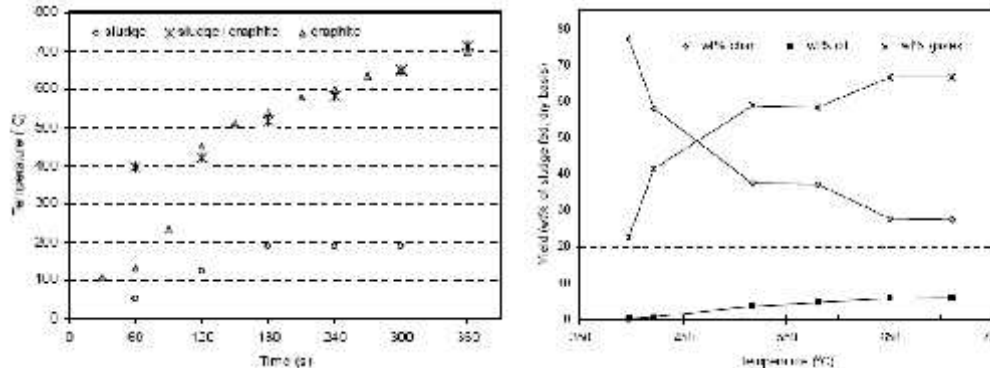
Gambar 3. Skema penelitian (Wahi, 2006)

Bahan dasar penelitian diteliti dengan analisis proksimat dan ultimat dengan hasil sebagai berikut:

Proximate analysis (wt%)	
Moisture (as fed)	50.41
Ash (dry basis)	30.83
Volatile matter (dry and ash free basis)	54.70
Fixed carbon (dry and ash free basis)	14.17
Ultimate analysis (wt%, dry and ash free basis)	
C	33.79
H	5.35
N	5.74
S	0.03
O (by difference)	54.18
Calorific value (kJ/kg, dry basis)	12.365

Langkah percobaan adalah sebagai berikut: mula-mula limbah cair dicampur dengan tepung graphite sebanyak 5 wt%. Tepung graphite digunakan dengan alasan mudah dalam proses pencampuran dan menghasilkan pemanasan yang seragam serta menghindari titik panas pada awal proses pemanasan. Kemudian 30 gram sampel dimasukkan di reactor quartz yang ada di dalam microwave. Reaktor berukuran diameter 50 mm dan panjang 200 mm, dengan diameter dalam quartz 13 mm untuk masuk dan keluar gas. Daya microwave yang digunakan adalah 700 W, frekuensi 2,45 MHz, serta gas Helium digunakan untuk menghasilkan efek hampa udara dialirkan 100 ml/menit selama 10 menit. Percobaan dilakukan selama 1, 2, 3, 4, 5, 6 menit untuk tiap sampel. Gas hasil pirolisis dianalisis dengan MRU Air Fair Emission Monitoring System: Exhaust Gas Analyzer DELTA 1600L. Sedangkan suhu sampel selama percobaan dimonitor oleh termometer infra merah Raytek Raynger ST80. Dari hasil penelitian didapatkan data pengaruh waktu pemanasan terhadap suhu sampel antar limbah murni, limbah dengan campuran graphite, dan graphite murni. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penambahan sedikit graphite maka pirolisis limbah mampu dilakukan. Sedangkan hasil pirolisis menunjukkan bahwa kenaikan suhu

akan meningkatkan prosentase hasil berupa gas, menurunkan hasil berupa char sampai mencapai 27,7 wt%, dan menaikkan hasil berupa minyak.



Gambar 4. Pengaruh waktu terhadap suhu dan pengaruh suhu terhadap produksi char, tar, dan gas

Analisis ultimat terhadap minyak hasil pirolisis menunjukkan hasil sebagai berikut:

Ultimate analysis (wt%, dry and ash free basis)	
C	52.52
H	6.47
N	1.47
S	0.56
O (by difference)	39.09
Calorific value (kJ/kg, dry basis)	
	28.852

Skodras dkk (2006) melakukan penelitian tentang pirolisis batu bara bermutu rendah untuk memproduksi bahan bakar yang lebih ramah lingkungan. Batubara yang diteliti adalah lignit Yunani Ptolemais, lignit Bulgaria Elhovo, dan batubara Australia. Sampel dipanaskan sampai 105°C dalam atmosfer N₂ selama 24 jam, dan diayak sampai 150-250µm. Hasil analisis proksimat dan ultimat dijabarkan pada tabel berikut.

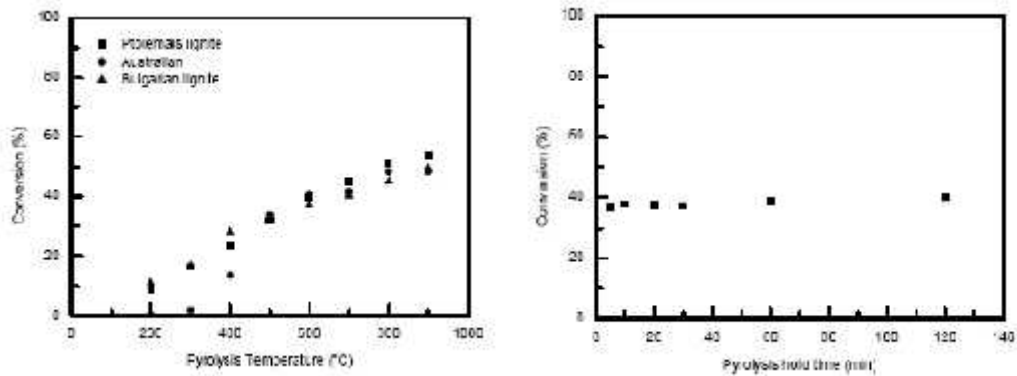
Samples	Proximate analysis (wt% dry basis)				Ultimate analysis (wt% db)				Cl (µg g ⁻¹)	Hg (µg g ⁻¹)
	Moisture	V.M. ^a	F.C. ^b	Ash	C	H	N	S		
Ptolemais	55.02	44.04	35.17	19.99	40.55	4.17	1.40	0.72	129.2	0.105
Bulgarian	53.27	45.73	21.74	15.20	42.93	3.91	0.60	0.68	148.3	0.380
Australian	2.47	40.93	47.09	11.88	71.60	5.42	1.57	2.65	179.5	0.370

^a Volatile matter, ^b Fixed Carbon

Pirolisis dilakukan pada fixed bed reactor pada tekanan ruangan dibawah aliran Helium antara suhu 200-900°C selama 5-120 menit. Analisis proksimat menggunakan metode ASTM D 3172-89, analisis gas C, N, H, dan S dengan ThermoFinnigan CHNS EA1112, analisis kandungan Chlorine dan merkuri di char dengan metode ASTM D 4208-88 dan EPA 7471A, serta tes termogravimetri dengan menggunakan SDTQ600. Semua sampel dipanaskan dengan laju pemanasan konstan 20°C/min dari temperatur lingkungan ke 1000°C dengan aliran udara konstan 100 ml/min.

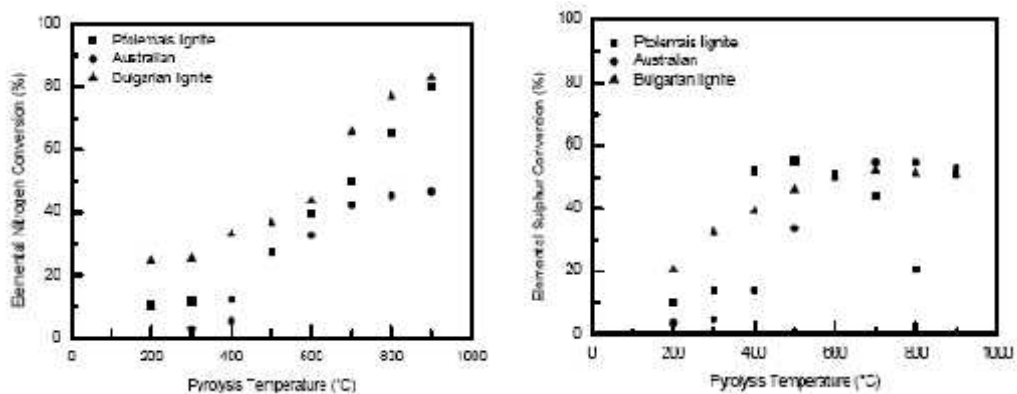
Hasil penelitian menunjukkan pengaruh temperature terhadap konversi char seperti gambar 5 di bawah. Untuk semua sampel saat suhu naik terjadi kenaikan konversi char dan menjadi konstan setelah mencapai suhu 450°C. Sedangkan efek residence time untuk batubara Ptolemais pada suhu 600°C dan

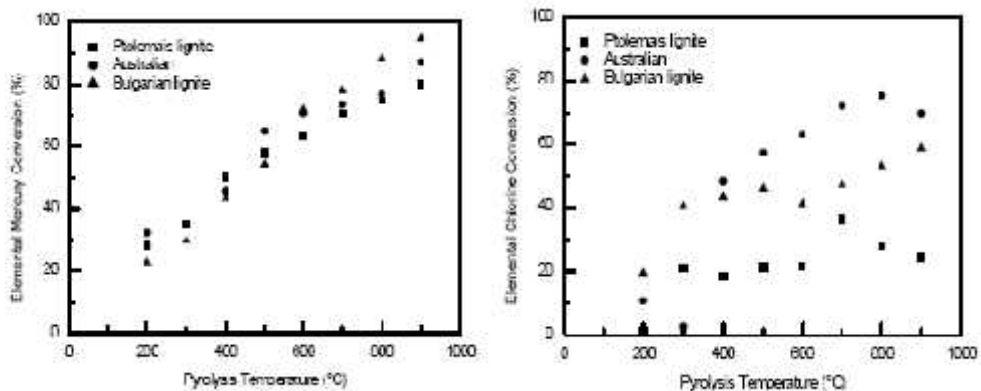
berbagai variasi waktu (5-120 menit) menunjukkan terjadinya penurunan massa tetapi hanya kecil yang membuktikan bahwa proses pirolisis sudah selesai pada waktu awal proses. Dan efek waktu karbonisasi tidak mempengaruhi pembentukan elemen polutan.



Gambar 5. Pengaruh suhu dan holding time terhadap produksi

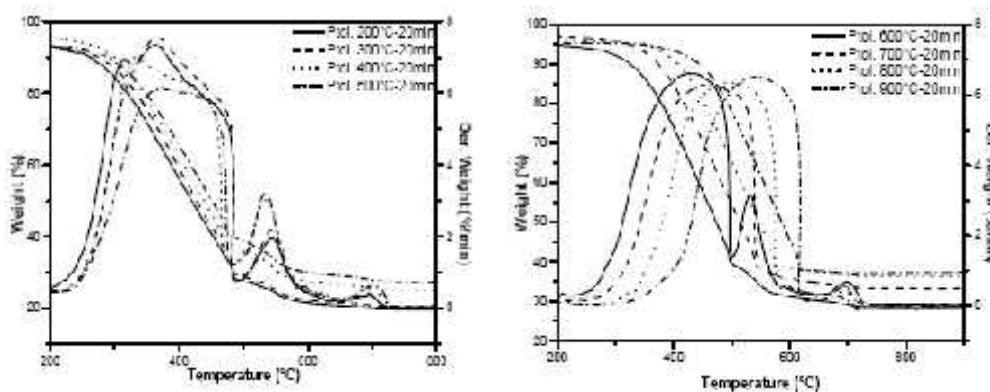
Hasil penelitian Skodras juga menunjukkan nitrogen, sulfur, merkuri dan klorin yang dihasilkan sebagai hasil pirolisis dalam gambar 6 berikut. Pada suhu rendah pembentukan nitrogen hanya sedikit (kurang dari 10%) dan meningkat pada kenaikan suhu. Diantara 500-600°C sekitar 30-45% nitrogen dihasilkan pada suhu karbonisasi rendah, sehingga mengurangi resiko pembentukan NOx selama pembakaran batubara. Pada suhu pirolisa rendah pembentukan sulfur juga rendah dan meningkat sejalan dengan kenaikan suhu. Untuk lignit Ptolemias pembentukan sulfur naik secara kontinyu sampai suhu 400°C dan konstan pada suhu 450-550°C. Sedangkan pada lignit Bulgaria dan Australia pembentukan sulfur konstan pada suhu 600°C. Pembentukan merkuri naik secara linear bersamaan dengan kenaikan suhu pirolisis dan mencapai hasil maksimal pada suhu tinggi (lebih dari 70% di atas suhu 800°C). Pada lignit Bulgaria terbentuk 40-50%, sedangkan Australia terbentuk 55-65% pada suhu 400-700°C. Proses pirolisis memberikan solusi untuk mencegah





Gambar 6. Pengaruh suhu terhadap pembentukan Nitrogen, Sulfur, Merkuri, dan Klorin

Penelitian Skodras menunjukkan juga oksidasi char yang terjadi akibat pengaruh suhu.



Gambar 7. Pengaruh suhu terhadap oksidasi char

Tsamba dkk (2006) melakukan penelitian pirolisis untuk Coconut Shell/CcNS (dari pohon *Anacardium occidentale* L) dan Cashew Nut / CNS (dari pohon *Cocos nucifera* L) didegradasi secara termal dengan menggunakan termogravimetri dan meneliti karakteristik profil devolatisasi dan analisa kinetika dari suhu 250-900°C pada variasi laju pemanasan.

Percobaan dilakukan dengan mula-mula memperkecil bentuk sampel CNS dan CcNS sampai ukuran 15 mg (tidak seragam). Dengan menggunakan termogravimetri terprogram SETARAM 92(TG), aliran gas Argon 50 ml/min, dan perlakuan suhu sebagai berikut: dari suhu lingkungan dinaikkan sampai 110°C dengan laju pemanasan 10°C/min untuk mengeringkan sampel, kemudian dinaikkan suhunya ke 990°C untuk proses pirolisis pelepasan volatilitas dengan laju pemanasan 5, 10, 20, 40, dan 50°C/min, dan terakhir transformasi isothermal pada 900°C selama 10 menit untuk proses produksi char dan devolatisasi lanjut, maka laju dan total pengurangan massa dapat diukur sebagai fungsi suhu dan waktu.

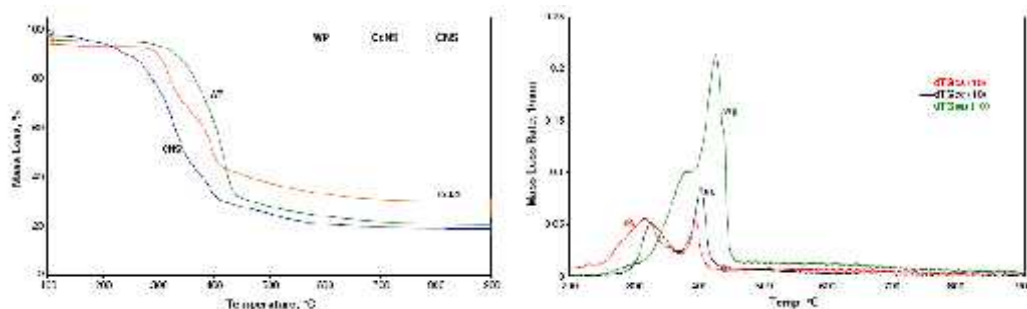
Tabel berikut menyatakan hasil analisis proksimat dan ultimat sampel biomass yang diteliti. Kandungan hidrokarbon yang tinggi dan oksigen yang

rendah serta heating value dan densitas yang tinggi merupakan karakteristik biomassa dibandingkan dengan wood pellet (WP). Karbon dan hidrogen merupakan indikasi hidrokarbon yang dilepaskan selama proses pirolisis. Juga dengan kandungan oksigen yang tinggi mengindikasikan kandungan energi HHV yang rendah. Perbedaan ini memainkan peranan yang penting selama proses pirolisis, serta gas dan char yang dihasilkan.

Proximate and ultimate analysis of the biomass samples studied in the present work

Biomass type	Ultimate analysis (db, % w/w)							Prox. analysis (db, % w/w)			HHV, MJ/kg	Density, kg/m ³
	C	H	N	O	S	Cl	Tr. El	Volat	Fix-C	Ash		
Coconut shells	53.9	5.7	0.1	39.44	0.00	0.12	0.72	74.9	24.4	0.7	20.515	1070
Cashew nut shells	58.3	7	0.7	32.05	0.05	0.03	1.56	81.8	17.3	0.9	24.051	1412
Wood pellets	50.9	6.2	0.2	42.06	0.01	0.02	0.61	81.2	15.1	0.6	20.265	554

Gambar 8 menunjukkan pengurangan massa untuk sampel kering di atas 100°C dengan laju panas 10°C/min. Kandungan massa volatil WP di atas CcNS tapi lebih rendah bila dibandingkan dengan CNS. Sedangkan pada interval suhu 247-420, 280-415, dan 260-450°C pengurangan massa yang terjadi sebesar 77%, 75%, dan 70%.



Gambar 8. Pengaruh suhu terhadap pengurangan massa

KESIMPULAN

Dari beberapa penelitian yang sudah dilakukan di atas dapat diambil kesimpulan bahwa perkembangan penelitian untuk menghasilkan energy alternative dari teknologi pirolisis mempunyai prospek yang cerah. Dengan beberapa teknik yang sudah disajikan di atas perlu dilakukan penelitian yang menggunakan bahan baku yang ada di sekitar kita sehingga dapat meningkatkan pengetahuan akan energy alternatif dari proses pirolisis.

DAFTAR PUSTAKA

- AJ. Tsamba, W. Yang, dan W. Blasiak, 2006, Pyrolysis characteristics and global kinetics of coconut and cashew nut shells, *Fuel Processing Technology* 87 p 523–530, Royal Institute of Technology, School of Industrial Engineering and Management, Department of Materials Science and Engineering, Division of Energy and Furnace Technology; Brinellvägen 23, SE-100 44, Stockholm Sweden
- G. Skodras, P. Natas, P. Basinas, dan G.P. Sakellariopoulos, 2006, Effects of Pyrolysis Temperature, Residence Time on The Reactivity of Clean Coals Produced From Poor Quality Coals, *Global NEST Journal*, Vol 8, No 2, pp 89-94, 2006
- Goerner, K., 2003, Waste Incineration European State of The Art and New Developments, *IFRF Combustion Journal*, July 2003, ISSN 1562-179X.

- R. Wahj, A. Idris, M.A.Mohd. Salleh dan K. Khalid, 2006, Low-Temperature Microwave Pyrolysis of Sewage Sludge, International Journal of Engineering and Technology Vol. 3 No.1 pp. 132-138 ISSN 1823-1039
- S. Ojolo and A. 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. September, 2005.