

KARAKTERISTIK PEMBAKARAN BRIKET ARANG BERBAHAN BAKU SAMPAH KOTA DENGAN ANALISA *TERMOGRAVIMETRY*

Yudi Setiawan

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Bangka Belitung

Jl.Merdeka no. 04 Pangkalpinang

E-mail : yudiubb@yahoo.co.id

Abstrak :Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh campuran bahan terhadap char yang dihasilkan, energi aktivasi dan karakteristik pembakarannya (ITVM, ITFC, PT dan BT). Proses pirolisis menggunakan 6 sampel uji yaitu benda uji 1 (100% bambu), benda uji 2 (100% daun pisang), benda uji 3 (100% plastik kemasan), benda uji 4 (50% bambu-50% daun pisang), benda uji 5 (50% bambu-50% plastik kemasan) dan benda uji 6 (50% daun pisang-50% plastik kemasan) dengan massa 20 gram. Sampel dipirolisis dengan temperatur akhir 400 °C dengan *heating rate* 10°C/menit. Temperatur dipertahankan selama 30 menit setelah temperatur sampel mencapai temperatur akhir yang diinginkan. Setelah *char* hasil pirolisis diperoleh kemudian dilakukan pembriketan sebelum pembakaran. Bahan briket memiliki massa 3 gram, yang terdiri dari 2,4 gram arang (80%) dan 0,6 gram binder (2,86% kanji dan 17,14 % air).

Untuk bahan tunggal benda uji 2 (daun pisang) menghasilkan massa akhir pirolisis tertinggi yaitu 32,8% dengan nilai kalor 3.982 kal/gram. Variasi campuran bahan berpengaruh terhadap massa *char* yang dihasilkan. Campuran bahan uji 4 (bambu-daun pisang) menghasilkan massa akhir pirolisis tertinggi yaitu 30,3% dengan nilai kalor 5.547 kal/ gram. Nilai kalor tertinggi dihasilkan pada campuran benda uji 6 (daun pisang-plastik kemasan) yaitu 8.360 kal/ gram yang kemungkinan disebabkan oleh uap *tar* yang terkandung dalam *volatile matter* akan menjadi reaktif. Uap *tar* dapat mengalami reaksi sekunder berupa *cracking* menjadi gas-gas hidrokarbon yang terperangkap di dalam pori-pori partikel arang atau mengalami repolimerisasi menjadi arang. Untuk bahan campuran, benda uji 4 (bambu-daun pisang) memiliki energi aktivasi terendah yaitu 22,923 (kJ/mol). Karakteristik pembakaran pada benda uji 4 yaitu ITVM =158°C , ITFC=176°C, PT =376 °C dan BT =729 °C.

Kata kunci : pirolisis, char, thermogravimetry

1. Pendahuluan

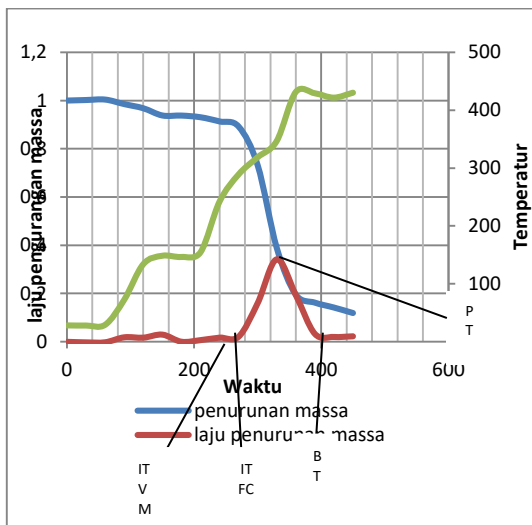
Konsumsi energi di berbagai sektor seperti transportasi, industri dan energi listrik untuk rumah tangga di Indonesia tercatat terus meningkat dengan laju

pertumbuhan rata-rata pertahun sebesar 5,2 %, sebaliknya cadangan energi nasional yang semakin menipis menimbulkan kekhawatiran akan krisis energi di masa mendatang jika tidak

ditemukan sumber-sumber energi yang baru. Beberapa peneliti telah melakukan percobaan pada beberapa jenis biomassa untuk mengetahui pengaruh pirolisis terhadap karakteristik biomassa. Grammelis dkk (2009) melakukan penelitian dengan sampel 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. Ojolo dan Bamgboye (2005) telah melakukan penelitian terhadap sampel sampah (campuran dari limbah makanan, buah-buahan/sayur, kertas, plastik dan bahan tekstil) melalui proses pirolisis untuk mendapatkan tar, *char* dan gas. Pada penelitiannya berat sampel yang digunakan seberat 12 kg dengan temperatur pirolisis berkisar antara 500 °C dan 650 °C, perbandingan produk

yang didapatkan dari penelitian tersebut adalah 52,2 % tar, 25,2 % *char* dan 22,6 % gas. Phandik (2008) telah meneliti karakteristik produk pirolisis dari *segregated waste* dimana proses pirolisis berlangsung dengan sampel 200 gram dan dengan kisaran temperatur akhir 350 °C sampai dengan 700 °C. Hasilnya produk *char* yang dihasilkan 38%- 55% dimana nilai kalor produk liquid berkisar antara 10-12 MJ/kg. Saptoadi (2006) meneliti ukuran partikel terhadap laju pembakaran briket. Hasilnya diperoleh bahwa semakin kecil ukuran partikel akan menurunkan laju pembakaran briket dari sekam padi, hal ini disebabkan oleh densitas briket yang semakin tinggi sehingga porositas menjadi lebih rendah dan difusi menjadi terhambat. Zapusek dkk (2003) melakukan penelitian mengenai pengaruh temperatur, lama dan ukuran partikel dalam proses karbonasi terhadap sifat-sifat dasar batubara setelah dikarbonasi. Pada variasi ukuran partikel batubara yang digunakan pada temperatur 750 °C selama 30 menit menunjukkan semakin besar ukuran partikel dapat meningkatkan kandungan air, karbon, kalori dan hidrogen. Tetapi dapat menurunkan kandungan abu, zat volatil,

nitrogen dan sulfur. Gran (2001) persamaan laju reaksi (k) yang merupakan representasi dari konstanta Arrhenius ($k = Ae^{-E/RT}$) dengan A adalah faktor pra eksponensial, E adalah energi aktivasi, \bar{R} adalah konstanta gas universal, T adalah temperatur. *Thermogravimetry Analysis* (TGA) merupakan suatu teknik untuk menganalisa perhitungan stabilitas termal suatu bahan dengan memonitor perubahan massa selama spesimen diberi perlakuan panas. Grafik perubahan massa ditampilkan sebagai fungsi terhadap kenaikan temperatur dapat dilihat pada gambar 1.



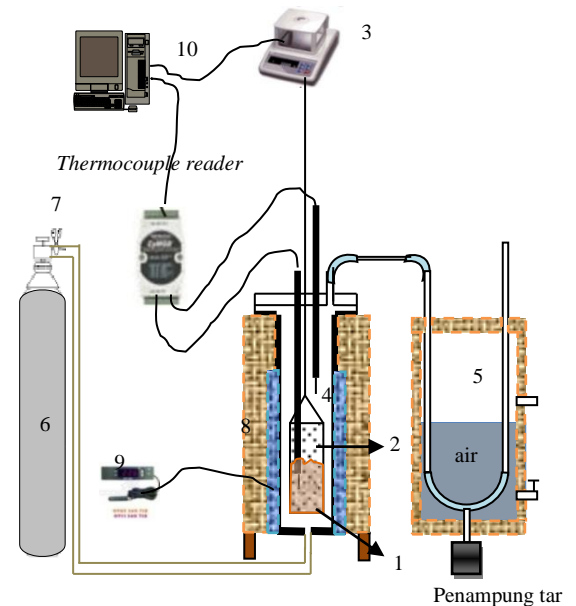
Gambar 1. Proses pembakaran

Initiation Temperature of Volatile Matter (ITVM) adalah temperatur saat mulai terbakarnya *volatile matter*. *Initiation Temperature of Fixed Carbon* (ITFC) adalah temperatur saat mulai

terbakarnya *fixed carbon*. *Peak of weight loss rate Temperature* (PT) adalah temperatur saat laju pengurangan massa tertinggi. *Burning out Temperature* (BT) adalah temperatur saat *fixed carbon* telah habis terbakar.

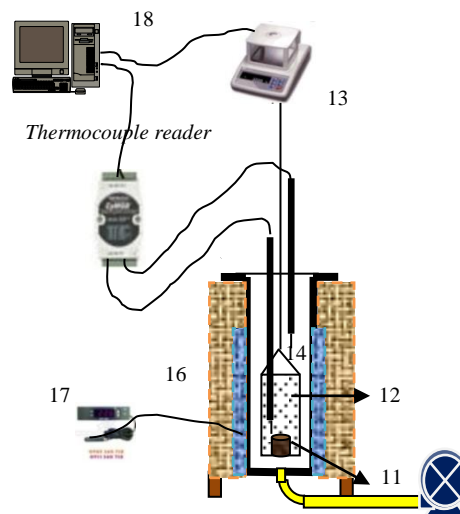
2. Metodologi Penelitian

Gambar 2. Skema peralatan uji pirolisis



Pada gambar 2 proses pirolisis menggunakan sampel uji dengan massa 20 gram (1) dimasukkan ke dalam wadah sampel (2), yang digantung dengan kawat pada timbangan digital (3). Salah satu ujung *thermocouple* (4) diletakkan sedikit di atas sampel dan ujung *thermocouple* yang lain tertanam dalam sampel tetapi sedikit di atas pada bagian bawah wadah sampel. Bak

pendingin (5) diisi air. Nitrogen dialirkan dari tabung (6) dengan laju aliran 1 liter/menit menggunakan pengaturan rotameter (7). *Furnace* (8) dipanaskan dengan menghidupkan *thermocontroller* (9) untuk memperoleh temperatur akhir 400 °C dengan *heating rate* 10°C/menit. Temperatur dipertahankan selama 30 menit setelah temperatur sampel mencapai temperatur akhir yang diinginkan. Laju pengurangan massa dan data temperatur terekam di program komputer (10). Setelah *char* hasil pirolisis diperoleh kemudian dilakukan pembriketan sebelum pembakaran. Bahan briket memiliki massa 3 gram, yang terdiri dari 2,4 gram arang (80%) dan 0,6 gram binder (2,86% kanji dan 17,14 % air). Bahan tersebut dicetak dengan cetakan berbentuk silinder dan berdiameter 15 mm. Pembriketan dilakukan pada tekanan 250 kg/cm² selama 5 menit, setelah itu briket dipanaskan dalam oven pemanas pada temperatur 100 °C selama 20 menit untuk mengurangi kadar air. Pembakaran briket dilakukan dengan cara menaikkan temperatur ruang bakar secara bertahap dengan besar kenaikan konstan tiap waktu (kenaikan temperatur 20 °C / menit) sampai tersisa abu.



Gambar 3 Skema peralatansuji pembakaran

Pada gambar 3 proses uji pembakaran, sampel briket (11) dimasukkan ke dalam wadah sampel (12) yang digantungkan pada timbangan digital (13). Salah satu ujung *thermocouple* (14) diletakkan sedikit di atas sampel dan ujung *thermocouple* lain tepat di atas sampel. *Blower* (15) mengalirkan udara dengan laju aliran udara 0,1 m/s. *Furnace* (16) dipanaskan dengan menghidupkan *thermocontroller* (17) untuk mengatur *heating rate* 20°C/menit. Laju pengurangan massa dan data temperatur terekam pada program komputer (18).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pengujian Nilai Kalor

Pengujian uji proksimat pada bahan tanpa pirolisis diperoleh hasil seperti tabel 1 berikut :

Tabel 1. Hasil uji proksimat bahan mentah

Dari uji proksimat terlihat bahwa kadar *fixed carbon* lebih tinggi terdapat pada bahan plastik kemasan. Kenaikan nilai kalor dipengaruhi oleh *volatile matter* dan *fixed carbon* sedangkan penurunan nilai kalor dapat disebabkan oleh kadar abu dan kadar air yang tinggi .

3.2. Pengaruh Variasi Campuran Terhadap Massa Arang Serta Nilai Kalor

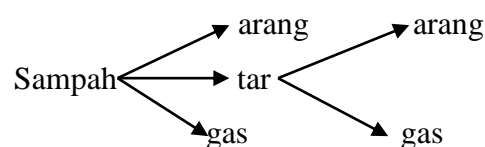
Data lengkap pengujian pirolisis terhadap massa arang dan nilai kalor dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Nomor Benda Uji	Temperatur pengurangan massa (°C)	Massa char (%)	Nilai kalor (kal/gram)
1	183– 398	27,63	6.215
2	173– 402	32,8	3.982
3	290 – 412	15,2	5.649
4	136– 395	30,3	5.547
5	132– 399	25,1	4.913
6	130 – 412	24,2	8.360

Tabel 2. Massa *char* dan Nilai kalor

Pada penelitian campuran massa *char* terbanyak terdapat pada bahan bambu-daun pisang, ini mungkin di sebabkan komponen bahan organik memiliki *fixed carbon* yang lebih tinggi dari pada bahan anorganik. Sedangkan nilai kalor tertinggi terdapat pada bahan daun pisang-plastik kemasan, hal ini mungkin

disebabkan oleh uap *tar* yang terkandung dalam *volatile matter* akan menjadi reaktif. Uap *tar* dapat mengalami reaksi sekunder berupa *cracking* menjadi gas-gas hidrokarbon yang terperangkap di dalam pori-pori partikel arang atau mengalami repolimerisasi menjadi arang (Di Blasi, 2008), sehingga hal inilah yang diduga memberi kontribusi terhadap peningkatan nilai kalor. Proses reaksi sekunder dari uap *tar* tersebut diilustrasikan pada gambar.



Bahan (%)	abu (%)	Kadar air (%)	volatile matter (%)	karbon teta p (%)	Nilai kalor (kal/gram)
Bambu	8,005	7,315	80,376	4,304	4.001,563
Daun pisang	13,56	10,155	73,08	3,277	4.189,169
Plastik kemasan	1,81	0,955	95,545	1,69	8.326,184

Gambar 3. Reaksi sekunder uap tar

3. 3. Karakteristik Pembakaran

- **Karakteristik Pembakaran**

Benda Uji 1

Pengurangan massa akibat mulai terbakarnya *volatile matter* terjadi pada suhu sekitar 203 °C. Pengurangan massa akibat mulai terbakarnya *fixed carbon* terjadi pada suhu sekitar 248 °C. Pengurangan massa tertinggi pada suhu sekitar 364 °C. *Fixed carbon* habis terbakar terjadi pada suhu sekitar 737°C dengan energi aktivasi 22,981 kJ/mol. Pada akhir pembakaran diperoleh massa akhir 18,1 % dan waktu pembakaran sekitar 23 menit.

Tabel 3. Karakteristik dan energi aktivasi pembakaran bambu

Bahan	Karakteristik temperatur pembakaran (°C)				Energi aktivasi (kJ/mol)
	ITV M	ITFC	PT	BT	
Benda Uji 1	203	248	364	737	22,981

- **Karakteristik Pembakaran**

Benda Uji 2

Pengurangan massa akibat mulai terbakarnya *volatile matter* terjadi pada suhu sekitar 197 °C. Pengurangan massa akibat mulai terbakarnya *fixed carbon* terjadi pada suhu sekitar 209 °C. Pengurangan massa tertinggi pada suhu sekitar 315 °C dan *fixed carbon* habis terbakar terjadi pada suhu sekitar

736 °C dengan energi aktivasi pembakaran 22,623 kJ/mol. Pada akhir pembakaran diperoleh massa akhir 16,5 % dengan waktu pembakaran sekitar 21 menit.

Tabel 4. Karakteristik dan energi aktivasi pembakaran daun pisang

Bahan	Karakteristik temperatur pembakaran (°C)				Energi aktivasi (kJ/mol)
	ITV M	ITFC	PT	BT	
Benda Uji 2	197	209	315	736	22,623

- **Karakteristik Pembakaran**

Benda Uji 3

Pengurangan massa akibat mulai terbakarnya *volatile matter* terjadi pada suhu sekitar 242°C. Pengurangan massa akibat mulai terbakarnya *fixed carbon* terjadi pada suhu sekitar 288°C. Pengurangan massa tertinggi pada suhu sekitar 687°C dan *fixed carbon* habis terbakar terjadi pada suhu sekitar 559°C. Pada akhir pembakaran diperoleh massa akhir 51 % dengan waktu pembakaran sekitar 10 menit dengan energi aktivasi pembakaran 31,420 kJ/mol. Dari grafik-grafik di atas dapat diketahui temperatur, energi aktivasi dan waktu pembakaran seperti dalam tabel berikut

Tabel 5. Karakteristik dan energi aktivasi pembakaran plastik kemasan

Bahan	Karakteristik temperatur pembakaran (°C)				Energi aktivasi (kJ/mol)
	ITV M	ITF C	PT	BT	
Benda Uji 3	242	248	687	559	31,420

- **Karakteristik Pembakaran Benda Uji 4**

Pengurangan massa akibat mulai terbakarnya *volatile matter* terjadi pada suhu sekitar 158 °C. Pengurangan massa akibat mulai terbakarnya *fixed carbon* terjadi pada suhu sekitar 176°C. Pengurangan massa tertinggi pada suhu sekitar 376 °C dan *fixed carbon* habis terbakar terjadi pada suhu sekitar 729 °C. Pada akhir pembakaran diperoleh massa akhir 28 % dengan waktu pembakaran sekitar 18 menit dan energi aktivasi pembakaran 22,923 kJ/mol.

Tabel 6. Karakteristik dan energi aktivasi pembakaran bambu-daun pisang

Bahan	Karakteristik temperatur pembakaran (°C)				Energi aktivasi (kJ/mol)
	ITV M	ITFC	PT	BT	
Benda Uji 4	158	176	376	729	22,923

- **Karakteristik Pembakaran Benda Uji 5**

Pengurangan massa akibat mulai terbakarnya *volatile matter* terjadi pada

suhu sekitar 174°C. Pengurangan massa akibat mulai terbakarnya *fixed carbon* terjadi pada suhu sekitar 194 °C. Pengurangan massa tertinggi pada suhu sekitar 384,3 °C dan *fixed carbon* habis terbakar terjadi pada suhu sekitar 602 °C. Pada akhir pembakaran diperoleh massa akhir 20,1 % dengan waktu pembakaran 18 menit dan energi aktivasi pembakaran 26,265 kJ/mol.

Tabel 7. Karakteristik dan energi aktivasi pembakaran bambu-plastik kemasan

Bahan	Karakteristik temperatur pembakaran (°C)				Energi aktivasi (kJ/mol)
	ITV M	ITFC	PT	BT	
Benda Uji 5	174	194	384	602	26,265

- **Karakteristik Pembakaran Benda Uji 6**

Pengurangan massa akibat mulai terbakarnya *volatile matter* terjadi pada suhu sekitar 193 °C . Pengurangan massa akibat mulai terbakarnya *fixed carbon* terjadi pada suhu sekitar 240 °C. Pengurangan massa tertinggi pada suhu sekitar 420 °C dan *fixed carbon* habis terbakar terjadi pada suhu sekitar 574 °C. Pada akhir pembakaran diperoleh massa akhir 42 % dengan waktu pembakaran sekitar 42 menit dengan

energi aktivasi pembakaran 32,809 kJ/mol.

Tabel 8. Karakteristik dan energi aktivasi pembakaran daun pisang-plastik kemasan

Bahan	Karakteristik temperatur pembakaran (°C)				Energi aktivasi (kJ/mol)
	ITV M	ITFC	PT	BT	
Benda Uji 6	193	240	420	574	32,809

Pada proses pembakaran, bahan - bahan campuran akan mengalami proses terbakarnya *volatile matter* lebih awal (temperatur lebih rendah). Kejadian ini mungkin disebabkan oleh sifat bahan yang tidak homogen sehingga memungkinkan terjadinya porositas yang berakibat pada semakin cepatnya *volatile matter* terbakar

4. Kesimpulan

Untuk bahan tunggal, benda uji 2 (daun pisang) menghasilkan massa akhir pirolisis tertinggi yaitu 32,8% dengan nilai kalor 3.982 kal/gram. Untuk bahan campuran, benda uji 4 (bambu - daun pisang) menghasilkan massa akhir pirolisis tertinggi yaitu 30,3% dengan nilai kalor 5.547 kal/gram. Nilai kalor tertinggi dihasilkan pada campuran benda uji 6 (daun pisang – plastik kemasan) yaitu 8.360 kal/gram yang

kemungkinan disebabkan oleh uap *tar* yang terkandung dalam *volatile matter* akan menjadi reaktif. Uap *tar* dapat mengalami reaksi sekunder berupa *cracking* menjadi gas-gas hidrokarbon yang terperangkap di dalam pori-pori partikel arang atau mengalami repolimerisasi menjadi arang. Untuk bahan campuran, benda uji 4 (bambu - daun pisang) memiliki energi aktivasi terendah yaitu 22,923 (kJ/mol). Karakteristik pembakaran pada benda uji 4 yaitu ITVM=158°C , ITFC=176 °C, PT =376 °C dan BT =729 °C.

Daftar pustaka

- 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., Sakellaropoulos, G., 2009, *Pyrolysis Kinetics and Combustion Characteristics of Waste Recovered Fuels*, Fuel 88 (2009), pp. 195-205
- Gran, I.R., 2001, “*Characterisation of MSW for Combustion Systems*”, SINTEF Energy Research, Norway.
- Ojolo,S.J dan 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.

- Phan, AN, 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.
- Saptoadi, H., 2006, *The Best Biobriquette Dimension and its Particle Size*, The 2nd Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE 2006)" 21-23 November, Bangkok, Thailand.
- Zapusek, A., Wirtgen, C., Weigandt, J. dan Lenart, F., 2003, *Characterisation of Carbonizate Produced from Velenje Lignite In Lab-Scale Reactor*, Acta Chim. Slov.50, 789-798.