

# Karakterisasi dan Laju Pembakaran Biobriket Campuran Sampah Organik dan Bungkil Jarak (*Jatropha curcas L.*)

Eddy Kurniawan<sup>1,\*</sup>, Wahyudi Budi Sediawan<sup>2</sup>, Muslikhin Hidayat<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Universitas Malikussaleh

Jl Tgk Cik Ditiro No 26, Lancang Garam, Lhokseumawe, Aceh 23451

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Kimia, Universitas Gadjah Mada

Jl Grafika No 2, Yogyakarta 55281

## Abstract

The potential of biomass municipal waste and jatropha cakes is abundant, but has not been utilized. These materials can be converted into biobriquette via pyrolysis, which can be used as alternative fuel. Tar and tapioca adhesive were applied for the binder.

In this study, briquettes with the mass fraction of jatropha cakes of 0, 25, 50, 75 and 100% were used. Research was done by performing carbonization, screening (35 mesh), mixing raw materials (municipal waste, jatropha cakes, tapioca adhesive and tar adhesive) and pressing at 1 kg/cm<sup>2</sup>. Briquettes were then analyzed for compressive strength, heating value, the moisture content, volatile matter, ash and fixed carbon. The combustion of the briquette was undertaken to study the rate of combustion.

Mathematical model showed that the rate of combustion of the briquette with composition of municipal waste and jatropha oil cakes (25% : 75%) with adhesive tar was faster. Briquettes with adhesive tar produce smoke when burned, while briquettes with tapioca adhesive is smoke-free. Therefore it is more preferable. The proposed mathematical model describes the rate of combustion of the briquette well. The kinetic parameter of the rate of combustion were also obtained.

**Keywords :** Briquette, adhesive materials, rate of combustion, kinetics parameter.

## Abstrak

Potensi limbah biomassa dan bungkil jarak pagar cukup besar dan saat ini belum dimanfaatkan. Kedua bahan tersebut dapat diolah menjadi bio-arang melalui proses pirolisis. Bio-arang dapat digunakan sebagai bahan bakar. Tar dan tepung tapioka digunakan sebagai perekat dalam pembuatan briket arang.

Pada penelitian ini digunakan briket arang dengan fraksi massa bungkil jarak pagar 0, 25, 50, 75 dan 100%. Percobaan diawali dengan pembuatan arang, penghalusan arang dan pengayakan ukuran 35 mesh, pencampuran bahan baku dengan pelbagai komposisi dengan penambahan perekat (tapioka atau tar) kemudian ditekan dengan tekanan 1 kg/cm<sup>2</sup>. Selanjutnya, briket dianalisis kuat tekan, kadar air, kadar bahan mudah menguap, kadar abu, karbon terikat dan nilai kalor. Pembakaran briket dilakukan untuk mempelajari laju pembakaran dengan model matematis.

Hasil analisis model matematis menunjukkan bahwa laju pembakaran briket pada komposisi bungkil jarak 75% dengan perekat tar, lebih cepat. Briket yang menggunakan perekat tar memberikan asap pada saat dibakar, sedang penggunaan perekat tapioka tidak menghasilkan asap. Model matematis yang diajukan dapat menggambarkan laju pembakaran briket. Parameter kinetik dan laju pembakaran dapat diperoleh dari model yang diajukan.

**Kata kunci:** briket, bahan perekat, laju pembakaran, parameter kinetik

## Pendahuluan

Biomassa hasil pertanian, khususnya limbah pertanian, merupakan bahan baku yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis, baik berupa produk maupun limbah. Pengolahan biji jarak dapat menghasilkan minyak nabati yang digunakan sebagai bahan bakar. Rendemen minyak jarak yang dihasilkan sebesar

30%, dan 70% sisanya merupakan limbah atau bungkil sisa ekstraksi (Hambali *et al*, 2006).

Karakterisasi arang hasil pirolisis terdiri atas kuat tekan, nilai kalor, kadar air, kadar abu, kadar zat menguap (*volatile matter*) dan kadar karbon terikat (*fixed carbon*). Laju pembakaran arang tergantung pada konsentrasi oksigen, temperatur gas, ukuran dan porositas arang. Arang mempunyai porositas yang tinggi. Porositas arang kayu berkisar 0,9 (Borman dan Ragland, 1998).

\* Alamat korespondensi: ediekur@yahoo.com

Model matematis laju pembakaran bahan padat dapat dituliskan sebagai berikut.

**Neraca massa padatan:**

$$Rate_{Input} - Rate_{Output} - Rate_{Degradasi} = Rate_{Accumulation}$$

$$0 - 0 - k_r \cdot m^n = \frac{dm}{dt}$$

$$\frac{dm}{dt} = -k_r \cdot m^n \tag{1}$$

Dimana,

$$k_r = f(T) = A_r \cdot e^{-\frac{E_r}{R \cdot T}}$$

**Neraca panas di tungku pembakaran :**

$$Rate_{Input} - Rate_{Output} + Rate_{Generation} = Rate_{Accumulation}$$

$$U \cdot A \cdot (T_h - T) + n_{gas} \cdot C_{p_{gas}} (T_u - T) - 0 + \frac{dm}{dt} \cdot \Delta H = \frac{d}{dt} (m \cdot C_p \cdot T)$$

$$U \cdot A \cdot (T_h - T) - n_{gas} \cdot C_{p_{gas}} (T - T_u) + \frac{dm}{dt} \cdot \Delta H = C_p \cdot T \cdot \frac{dm}{dt} + m \cdot C_p \cdot \frac{dT}{dt}$$

$$m \cdot C_p \cdot \frac{dT}{dt} = U \cdot A \cdot (T_h - T) - n_{gas} \cdot C_{p_{gas}} (T - T_u) + \frac{dm}{dt} \cdot \Delta H - C_p \cdot T \cdot \frac{dm}{dt}$$

$$m \cdot C_p \cdot \frac{dT}{dt} = U \cdot A \cdot (T_h - T) - n_{gas} \cdot C_{p_{gas}} (T - T_u) + \frac{dm}{dt} \cdot (\Delta H - C_p \cdot T)$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{U \cdot A}{m \cdot C_p} \cdot (T_h - T) + \frac{(\Delta H - C_p \cdot T) dm}{m \cdot C_p \cdot dt} - \frac{n_{gas} \cdot C_{p_{gas}} (T - T_u)}{m \cdot C_p} \tag{2}$$

**Neraca panas di elemen pemanas:**

$$Rate_{Input} - Rate_{Output} + Rate_{Generation} = Rate_{Accumulation}$$

$$Q_{Listrik} - U \cdot A \cdot (T_h - T) + 0 = m_{pemanas} \cdot C_{p_{pemanas}} \cdot \frac{dT_h}{dt}$$

$$m_{pemanas} \cdot C_{p_{pemanas}} \cdot \frac{dT_h}{dt} = Q_{Listrik} - U \cdot A \cdot (T_h - T)$$

$$\frac{dT_h}{dt} = \frac{Q_{Listrik}}{m_{pemanas} \cdot C_{p_{pemanas}}} - \frac{U \cdot A \cdot (T_h - T)}{m_{pemanas} \cdot C_{p_{pemanas}}} \tag{3}$$

Keadaan awal :

1. t = 0; m = m<sub>0</sub>; T = T<sub>0</sub>; T<sub>h</sub> = T<sub>h0</sub>
2. t = t; m = m; T = T; T<sub>h</sub> = T<sub>h</sub>

**Metode Penelitian**

**Bahan baku**

Bahan baku adalah sampah organik, bungkil jarak, tapioka dan tar.

**Alat**

Alat yang digunakan adalah dapur pirolisis dan pencetak briket.

**Cara penelitian**

Sampah organik dan bungkil jarak dikeringkan ± 3 (tiga) hari, kemudian dilakukan

proses pengarangan terhadap sampah organik dan bungkil jarak pada suhu 450°C selama 5-6 jam. Selanjutnya arang sampah organik dan bungkil jarak masing-masing di ayak dengan ayakan 35 mesh (tertahan pada 35 mesh), dicampur dengan tapioka (yang telah dilarutkan terlebih dahulu dengan air) dan tar sebagai perekat. Pencetakan dengan tekanan 1,0 kg/cm<sup>2</sup>. Tetapi sebelum di campur, terlebih dahulu dibuat berbagai perbandingan komposisi bahan baku sampah organik dan bungkil jarak (100:0, 75: 25, 50:50, 25:75, 0:100). Briket arang yang telah dicetak kering kemudian dilakukan pengujian : kuat tekan, nilai kalor, kadar air, kadar abu, kadar zat menguap (*volatile matter*) dan kadar karbon terikat (*fixed carbon*). Terakhir, uji laju pembakaran dengan udara masuk ke tungku pembakaran 0,3 m/s (dianggap seperti mengipas).

**Hasil dan Pembahasan**

Hasil analisis arang sampah organik dan bungkil jarak disajikan pada Tabel 1 berikut.

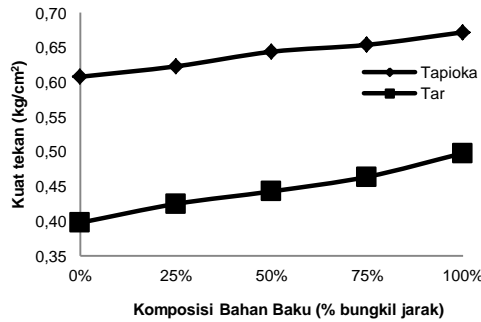
**Tabel 1. Hasil analisis arang sampah organik dan bungkil jarak**

Parameter	Perekat Tapioka	Perekat Tar
Kuat tekan , kg/m <sup>2</sup>	0,608-0,672	0,398-0,498
Kadar air, %	8,672-7,622	2,676-2,448
Kadar zat menguap, %	31,030-24,970	52,195-45,401
Kadar abu, %	27,322-25,213	25,302-23,759
Kadar karbon terikat, %	41,648-49,817	22,503-30,840
Nilai kalor, cal/g	4452,980-	5734,745-
	5573,245	6662,350

Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai kalor bahan dipengaruhi oleh sifat-sifat fisis bahan. Untuk bungkil biji jarak nilai kuat tekan dan karbon terikat lebih besar sedang kadar air dan kadar zat menguap lebih rendah maka nilai kalor arang bungkil jarak lebih tinggi dari pada nilai kalor sampah organik.

**Kuat Tekan**

Kuat tekan terendah sebesar 0,398 kg/cm<sup>2</sup> pada sampah organik menggunakan perekat tar, sedangkan nilai tertinggi sebesar 0,672 kg/cm<sup>2</sup> pada bungkil jarak menggunakan perekat tapioka. Kuat tekan untuk pelbagai komposisi bahan baku dengan menggunakan perekat tapioka dan tar untuk masing-masing perlakuan ditunjukkan pada Gambar 1. Hal ini dapat dihubungkan dengan peningkatan nilai kerapatan briket. Semakin bertambah arang bungkil jarak, maka kekompakan briket juga bertambah sehingga kuat tekan juga bertambah besar.



**Gambar 1.** Hubungan kuat tekan dengan komposisi bahan baku menggunakan perekat tapioka dan tar.

Selain itu, penggunaan perekat tapioka sangat baik untuk menghasilkan kuat tekan briket arang dibanding dengan perekat tar. Hal ini disebabkan perekat tapioka memiliki susunan molekul yang lebih kompleks sedangkan perekat tar terdiri atas campuran senyawa-senyawa hidrokarbon.

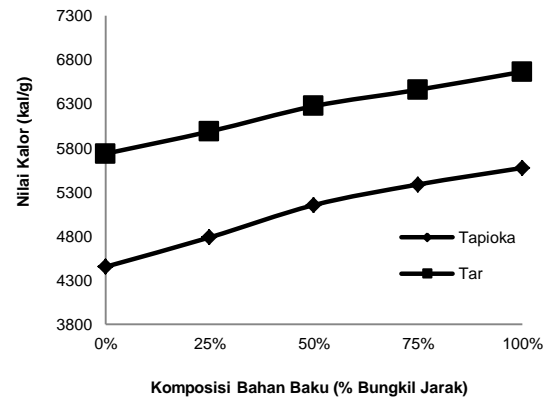
### Nilai Kalor

Menurut Masturin (2002), nilai kalor dipengaruhi oleh kadar air dan kadar abu. Semakin tinggi kadar air dan kadar abu briket arang, maka akan menurunkan nilai kalor bakar briket arang dihasilkan. Nilai kalor terendah sebesar 4452,982 kal/g pada perlakuan komposisi sampah organik menggunakan perekat tapioka, sedangkan nilai tertinggi sebesar 6662,352 kal/g pada bungkil jarak menggunakan perekat tar. Sudrajat dan Saleh (1994) menunjukkan bahwa briket arang dengan perekat tapioka nilai kalornya lebih rendah dibanding dengan nilai kalor kayu. Nilai kalor pelbagai komposisi bahan baku ditunjukkan pada Gambar 2. Nilai kalor menggunakan perekat tar lebih tinggi dari pada perekat tapioka hal ini disebabkan kadar air pada penggunaan perekat tapioka akan lebih tinggi dibanding perekat tar. Disamping itu, kontribusi kadar abu pada tar lebih rendah dibanding dengan tapioka.

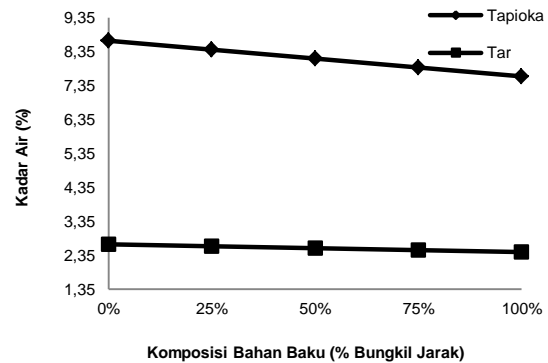
### Kadar air

Kadar air berpengaruh terhadap nilai kalor. Semakin kecil nilai kadar air, maka semakin tinggi nilai kalornya. Kadar air terendah sebesar 2,448% pada bungkil jarak dengan perekat tar, sedangkan nilai tertinggi sebesar 8,672 % pada sampah organik menggunakan perekat tapioka. Penggunaan perekat tapioka yang mempunyai sifat tidak tahan terhadap kelembaban, sehingga mudah menyerap air dari udara (Rustini, 2004). Hubungan kadar air dengan pelbagai komposisi ditunjukkan pada Gambar 3. Nilai kadar air pada

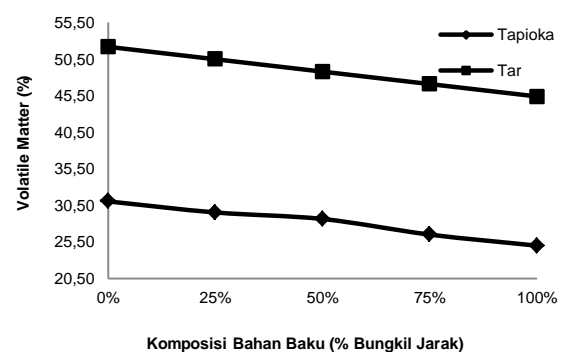
pelbagai komposisi menggunakan perekat tar lebih rendah dibanding perekat tapioka. Untuk meningkatkan kualitas briket perlu dipilih jenis perekat dan komposisi perekat.



**Gambar 2.** Hubungan nilai kalor dengan komposisi bahan baku menggunakan perekat tapioka dan tar.



**Gambar 3.** Hubungan kadar air dengan komposisi bahan baku menggunakan perekat tapioka dan tar.



**Gambar 4.** Hubungan kadar zat menguap dengan komposisi bahan baku menggunakan perekat tapioka dan tar.

### Kadar zat menguap

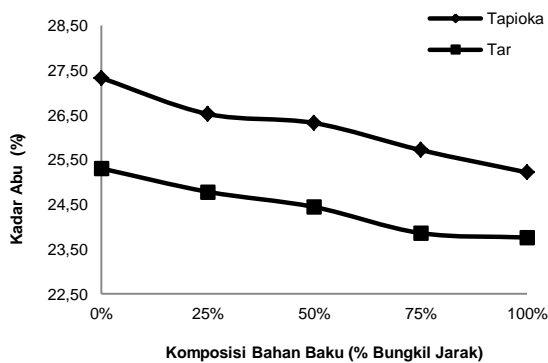
Kandungan kadar zat menguap yang tinggi di dalam briket arang akan menyebabkan asap yang lebih banyak pada saat briket dibakar. Kadar zat

menguap pada pelbagai komposisi bahan baku ditunjukkan pada Gambar 4.

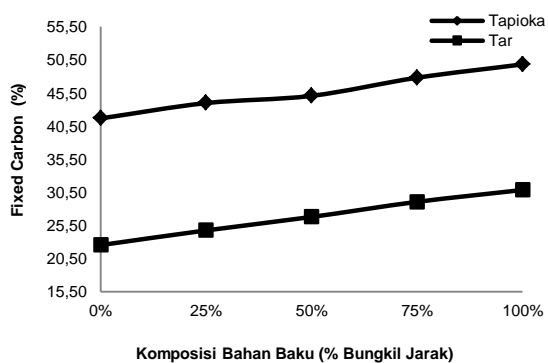
Kadar zat menguap terendah sebesar 24,970% pada bungkil menggunakan perekat tapioka, sedangkan nilai tertinggi sebesar 52,195% pada sampah organik menggunakan perekat tar.

**Kadar abu**

Kadar abu terhadap komposisi bahan baku ditunjukkan pada Gambar 5. Kadar abu terendah 23,759% pada bungkil jarak dengan perekat tar, sedang nilai tertinggi 27,322% pada sampah organik menggunakan perekat tapioka. Pengurangan arang sampah organik menurunkan kadar abu karena kandungan silika pada sampah organik lebih tinggi dibandingkan pada bungkil, jarak. Kandungan abu yang tinggi menurunkan nilai kalor briket arang sehingga kualitas arang menurun (Masturin, 2002).



Gambar 5. Hubungan kadar abu dengan komposisi bahan baku menggunakan perekat tapioka dan tar.



Gambar 6. Hubungan kadar karbon terikat dengan komposisi bahan baku menggunakan perekat tapioka dan tar.

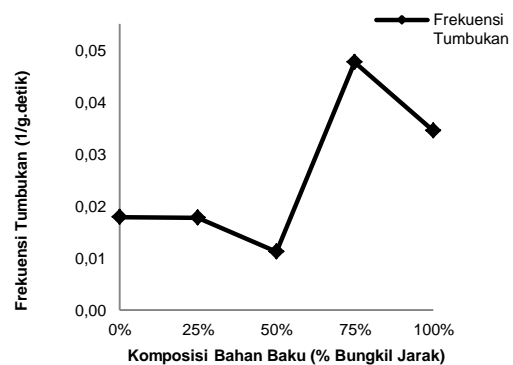
**Kadar karbon terikat**

Karbon terikat di dalam briket dipengaruhi oleh kadar abu dan kadar zat menguap. Gambar 6

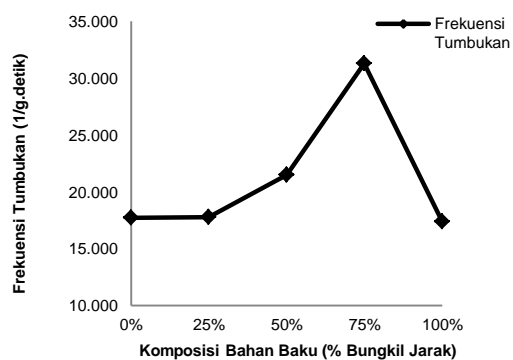
menunjukkan kadar karbon terikat pelbagai komposisi bahan baku. Kadar karbon terikat terendah 22,503 % dan nilai tertinggi 49,817 %, masing-masing untuk sampah organik dan bungkil jarak. Penambahan bungkil jarak meningkatkan kadar karbon terikat dan kadar zat menguap sedangkadar abu menurun.

**Analisis model matematis laju pembakaran**

Penggunaan model matematis pada laju pembakaran, akan dihasilkan nilai faktor frekuensi tumbukan ( $A_r$ ), tenaga aktivasi ( $E_r$ ) dan koefisien perpindahan panas keseluruhan ( $U$ ) pada masing-masing komposisi bahan baku. Gambar 7 nampak kecenderungan naiknya faktor tumbukan akibat naiknya kadar bungkil jarak. Bungkil jarak relatif lebih cepat terbakar dari pada sampah organik. Hal ini disebabkan struktur arang bungkil jarak teratur dari pada sampah organik, sehingga oksigen lebih cepat masuk. Gambar 8 nampak kecenderungan yang relatif tidak berubah.

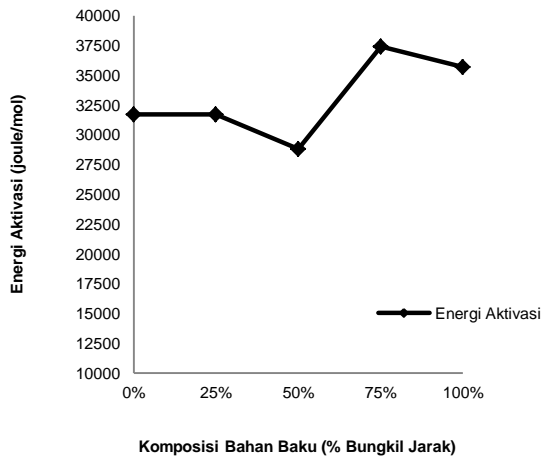


(a)

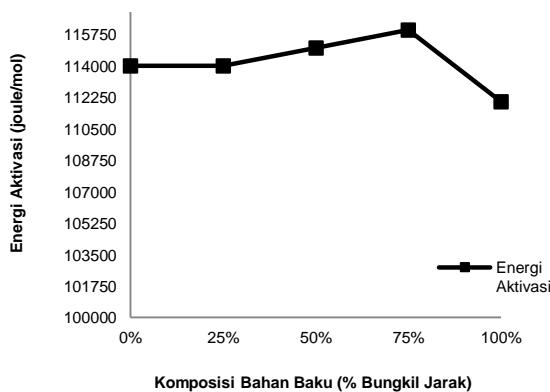


(b)

Gambar 7. Hubungan frekuensi tumbukan dengan komposisi bahan baku menggunakan (a) perekat tapioka dan (b) perekat tar.



(a)

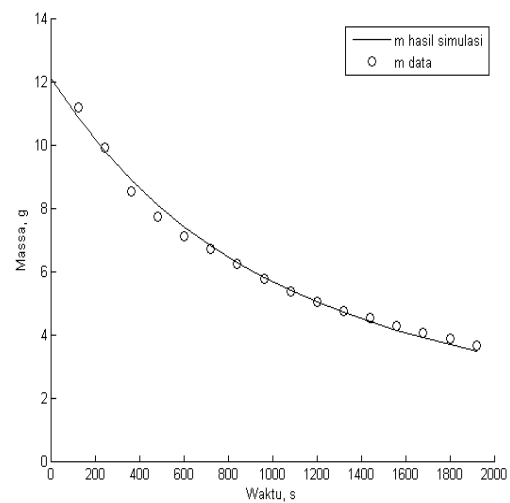


(b)

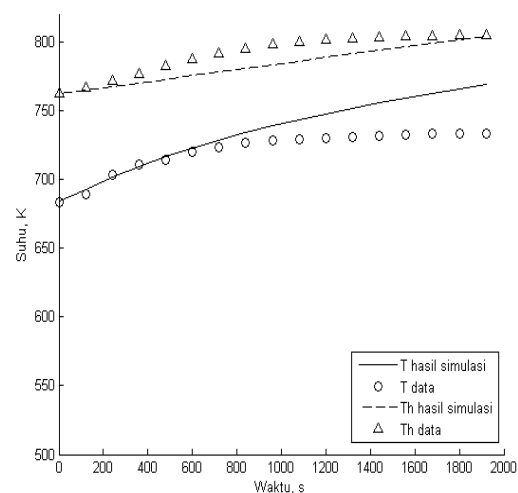
**Gambar 8. Hubungan energi aktivasi dengan komposisi bahan baku menggunakan (a) perekat tapioka dan (b) perekat tar.**

Pengaruh komposisi bahan baku dan variasi perekat terhadap pengurangan massa bahan baku dan laju pembakaran dirumuskan dalam model matematis dapat disimpulkan, bahwa model matematis dapat mendiskripsikan secara kuantitatif laju pembakaran dengan baik, yang ditunjukkan Gambar 9 dan 10. Nampak jelas pengurangan massa bahan baku terhadap laju pembakaran biobriket dengan perekat tar, lebih stabil di suhu pemanas dan suhu operasi, seperti ditunjukkan Gambar 10(b). Pengurangan massa bahan baku briket terhadap laju pembakaran dengan perekat tapioka sedikit kurang stabil di suhu operasi, sedang suhu pemanas stabil, yang ditunjukkan Gambar 9(b). Hal ini disebabkan perekat tar terdiri atas senyawa hidrokarbon yang menyebabkan briket arang mudah terbakar, sedangkan perekat tapioka mempunyai sifat dapat menyerap air dari udara (Rustini, 2004). Hasil simulasi menunjukkan perlakuan terbaik pada komposisi sampah organik dan bungkil jarak (50%:50%) dengan perekat tapioka

sebagaimana yang ditunjukkan Gambar 9. Nilai  $A_r$ ,  $E_r$  dan  $U$  berturut-turut  $1,12 \times 10^{-2}$  1/g. s,  $2,88 \times 10^4$  J/mol dan  $3,48 \times 10^{-3}$  watt/m<sup>2</sup>. K, Perlakuan terbaik pada komposisi sampah organik dan bungkil jarak (25%:75%) menggunakan perekat tar ditunjukkan Gambar 10 dan diperoleh nilai  $A_r$ ,  $E_r$  dan  $U$  berturut-turut  $3,13 \times 10^4$  1/g. s,  $1,16 \times 10^5$  J/mol dan  $2,54 \times 10^{-3}$  watt/m<sup>2</sup>.K. Menurut Hurt dan Calo (2001) pada kondisi suhu operasi 700K, reaksi dapat didekati dengan model reaksi order dua dengan faktor frekuensi tumbukan ( $A_r$ ) sebesar  $1,28 \times 10^{-4}$  1/g.s dan energi aktivasi ( $E_r$ ) sebesar  $3,5 \times 10^4$  J/mol. Nilai energi aktivasi yang diperoleh dari penelitian ini sesuai dengan data pustaka.

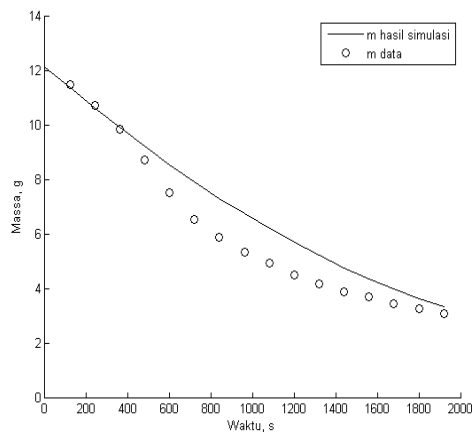


(a)

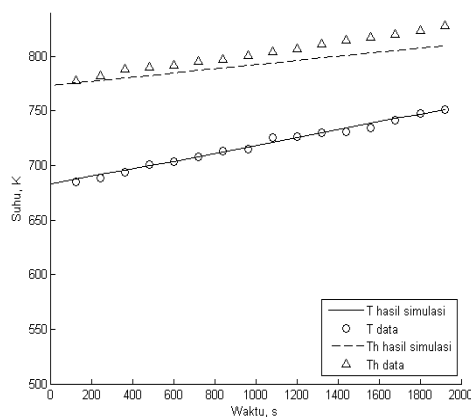


(b)

**Gambar 9. Komposisi bahan baku sampah organik dan bungkil jarak (50%:50%) dengan perekat tapioka terhadap (a) Massa bahan baku terhadap waktu operasi dan (b) Suhu pemanas dan suhu operasi terhadap waktu operasi.**



(a)



(b)

**Gambar 10. Komposisi bahan baku sampah organik dan bungkil jarak (25%:75%) dengan perekat tar terhadap (a) Massa bahan baku terhadap waktu operasi dan (b) Suhu pemanas dan suhu operasi terhadap waktu operasi.**

**Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan :

- Perbandingan komposisi bahan baku antara sampah organik dan bungkil jarak pada biobriket memberi pengaruh nyata terhadap semua parameter uji.
- Perekat tar mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap laju pembakaran, karena kandungan kadar zat menguap (*volatile matter*) yang lebih tinggi dibandingkan dengan perekat tapioka.
- Karakteristik pembakaran biobriket yang terbaik dengan pendekatan model matematis ditemukan pada pembakaran biobriket dengan komposisi sampah organik dan bungkil jarak (25% : 75%) menggunakan perekat tar, hal ini disebabkan karena suhu pemanas dan suhu

operasi stabil, sehingga menghasilkan laju pembakaran yang baik.

- Model matematis yang diajukan dapat mendiskripsikan secara kuantitatif laju pembakaran biobriket dengan komposisi sampah organik dan bungkil jarak (50% : 50%) menggunakan perekat tapioka. Diperoleh frekuensi tumbukan ( $A_r$ ) sebesar  $1,12 \times 10^{-2}$  1/g. detik, energi aktivasi ( $E_r$ ) sebesar  $2,88 \times 10^4$  joule/mol dan koefisien perpindahan panas keseluruhan ( $U$ ) sebesar  $3,48 \times 10^{-3}$  watt/m<sup>2</sup>.K.
- Model matematis yang diajukan dapat mendiskripsikan secara kuantitatif laju pembakaran biobriket dengan komposisi sampah organik dan bungkil jarak (25% : 75%) menggunakan perekat tar. Diperoleh frekuensi tumbukan ( $A_r$ ) sebesar  $3,13 \times 10^4$  1/g. detik, energi aktivasi ( $E_r$ ) sebesar  $1,16 \times 10^5$  joule/mol dan koefisien perpindahan panas keseluruhan ( $U$ ) sebesar  $2,54 \times 10^{-3}$  watt/m<sup>2</sup>.K.

**Daftar lambang**

- A : Luas penampang, m<sup>2</sup>
- $A_r$  : Frekuensi tumbukan, 1/g.s
- $C_p$  : Kapasitas panas, joule/g.K
- $C_{p\ gas}$  : Kapasitas panas gas, joule/g.K
- $C_{ppemanas}$  : Kapasitas panas pemanas, Joule/g.K
- $E_r$  : Energi aktivasi, Joule/mol
- $k_r$  : Konstanta laju kinetika, 1/detik
- m : Massa, g
- $m_{pemanas}$  : Massa pemanas, g
- Mesh : Banyak lubang per inci persegi
- n : Orde reaksi
- $n_{gas}$  : Molekul-molekul gas, mol
- py* : Pirolisis
- $Q_{listrik}$  : Panas listrik, watt
- $R_r$  : Konstanta gas ideal, joule/mol.K
- t : Waktu, detik
- T : Temperatur tungku, K
- $T_d$  : Temperatur dinding luar, K
- $T_h$  : Temperatur pemanas, K
- $T_{ho}$  : Temperatur pemanas mula-mula, K
- $T_u$  : Temperatur udara, K
- U : Koefisien perpindahan panas keseluruhan, watt/m<sup>2</sup>.K
- $\Delta H$  : Entalpi pembakaran, kal/g

### Daftar pustaka

- Bergman R. dan J. Zerbe., 2004, "Primer on Wood Biomassa for Energy", USDA Forest Service., State and Private Forestry Technology Marketing Unit Forest products Laboratory, Madison, Wilsconsin.
- Hambali E., A. Suryani., H. Dadang., H. Dadang., Hanafie., I. K. Reksowardojo., M. Rivai., M. Ihsanur., P. Suryadarma., S. Tjitrosemito., T. H. Soerawidjaja., T. Prawitasari., T. Prakoso dan W. Purnama., (2006), " Jarak Pagar Tanaman Penghasil Biodiesel', Penebar Swadaya, Jakarta.
- Masturin., A., 2002, "Sifat Fisik dan Kimia Briket Arang dari Campuran Arang Limbah Gergajian Kayu [skripsi]", Bogor, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
- Robert H. Hurt and Joseph M. Calo., 2001, "Semi-Global Intrinsic for Char Combustion Modeling", *Combustion and Flame* 125:1138-1149.
- Rustini., 2004, "Pembuatan Briket Arang dari Serbuk Gergajian Kayu Pinus (*Pinus merkusii Jungh. Et de Vr.*) dengan Penambahan Tempurung Kelapa", Fakultas Kehutanan IPB, Bogor.
- Sudrajat R. dan S. Soleh., 1994," Petunjuk Teknis Pembuatan Arang Aktif", Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Bogor.