

# MODEL MATEMATIS LAJU PEMBAKARAN BIOBRIKET CAMPURAN SAMPAH ORGANIK DAN BUNGKIL JARAK (*JATROPHA CURCAS L*)

Eddy Kurniawan<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malilikkussaleh  
Jalan Tgk. Chik Ditiro No. 26 Lancang Garam Lhokseumawe, 24351

\*Email : ediekur@yahoo.com

## ABSTRAK

*Potensi biomassa sampah organik dan bungkil jarak sebagai energi alternatif sedemikian melimpah, namun belum terolah sepenuhnya. Padahal komposisi sampah organik dan bungkil jarak merupakan biomassa dengan kandungan energi yang relatif besar. Apabila sampah organik dan bungkil jarak diolah bersama-sama dengan bungkil jarak dengan menggunakan bahan perekat tapioka dan tar akan diperoleh satu bahan bakar padat buatan sebagai bahan bakar alternatif. Dalam penelitian ini, komposisi yang di uji adalah briket dengan persentase sampah organik dan bungkil jarak yaitu 100/0; 75/25; 50/50; 25/75; 0/100. Penelitian dilakukan dengan pengumpulan, pengeringan, penghalusan, karbonisasi, pengayakan, pencampuran bahan baku (sampah organik, bungkil jarak, perekat tapioka dan perekat tar) dan pengepresan dengan tekanan 1 kg/cm<sup>2</sup>. Dari penelitian di laboratorium dan pendekatan model matematis didapatkan bahwa karakteristik laju pembakaran briket komposisi sampah organik dan bungkil jarak (25/75) dengan bahan perekat tar, lebih cepat terbakar dan suhu yang dicapai optimal. Briket yang dihasilkan dengan perekat tar tidak disukai karena berasap, sedangkan briket yang dihasilkan dengan perekat tapioka lebih disukai karena tidak berasap.*

**Kata kunci :** Briket, bahan perekat, pembakaran

## ABSTRACT

*The potential of biomass municipal waste and jathropha oil cakes in such is abundant, but has not been fully processed. The municipal waste and jathropha oil cakes 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 ratio of municipal waste and jathropha oil cakes of 100/0; 75/25; 50/50; 25/75; 0/100 have been produced and tested. Research was done by collecting, drying, testing, carbonization, screening, mixing raw materials (municipal waste, jathropha oil cakes, tapioca adhesive and tar adhesive) and pressing at 1 kg/cm<sup>2</sup>. Laboratory work and mathematical model showed that the rate of combustion and characteristic of the briquette with composition of municipal waste and jathropha oil cakes is (25/75), with adhesive tar, burns faster. Briquettes produced with the adhesive tar are not preferred because of the smoke, while the briquettes produced with tapioca adhesive are preferred because of the smoke free.*

**Keywords :** Briquette, adhesive materials, combustion

## PENDAHULUAN

Bahan bakar merupakan salah satu kebutuhan penting bagi kehidupan manusia. Bahan bakar alternatif yang banyak dikembangkan dan diteliti saat ini adalah bahan bakar yang berasal dari biomassa hasil pertanian. 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. Selain digunakan untuk tujuan primer serat, pakan ternak, minyak nabati dan bahan bangunan, biomassa juga digunakan sebagai sumber energi (bahan bakar).

Sampah adalah sisa suatu usaha atau kegiatan yang berwujud padat baik berupa zat organik maupun anorganik yang bersifat dapat terurai maupun tidak dapat terurai dan dianggap sudah tidak berguna lagi sehingga dibuang ke lingkungan begitu saja. Pengolahan (pengepresan) biji

jarak dapat menghasilkan minyak nabati yang dapat digunakan sebagai bahan bakar. Rendemen minyak jarak yang dihasilkan sebesar 30%. Dengan rendemen minyak jarak sebesar itu dari total biji jarak yang diekstraksi, maka akan diperoleh 70% limbah atau bungkil sisa ekstraksi yang masih mengandung sisa minyak yang cukup tinggi. Biobriket adalah jenis bahan bakar padat berbasis limbah biomassa dengan ukuran lebih kecil. Proses yang digunakan adalah pengempaan dengan suhu dan tekanan tinggi sehingga membentuk produk yang seragam dengan kapasitas produksi yang tinggi.

Biomassa merupakan sumber energi yang bersih dan dapat diperbarui namun biomassa mempunyai kekurangan yaitu tidak dapat langsung dibakar karena sifat fisiknya yang buruk, seperti kerapatan energi yang rendah dan permasalahan penanganan, penyimpanan dan transportasi. Proses pembuatan arang adalah proses penguraian dari bahan organik dengan pemanasan (pirolisis) atau pembakaran tanpa udara yang menghasilkan gas CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> dan hidrokarbon ringan, minyak, arang dan abu. Borman dan Regland (1998), menyatakan laju pirolisis/devolatilisasi bahan padat ditunjukkan dengan pendekatan persamaan reaksi orde pertama dengan konstanta laju Arrhenius :

$$\frac{dm_v}{dt} = -m_v \cdot k_r \text{ pyr} \quad \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

$$k_r \text{ pyr} = -k_{r0} \text{ pyr} \cdot e^{\left(\frac{-E_r \text{ pyr}}{R T_p}\right)}$$

$$m_v = m_p - m_c - m_a$$

Pembakaran adalah suatu reaksi atau perubahan kimia apabila bahan mudah terbakar (*combustible material*) bereaksi dengan oksigen atau bahan pengoksidasi lain secara eksotermik. Menurut Naruse *et al* (1999), melakukan penelitian mengenai karakteristik pembakaran biomassa yang berasal dari limbah jagung. Di dapatkan bahwa karakteristik pembakaran biomassa tergantung dari komposisi biomassa semisal *lignin* dan *cellulose*, disamping itu juga didapatkan bahwa biomassa dapat memperbaiki proses penyalaan.

Beberapa masalah yang berhubungan dengan pembakaran limbah pertanian adalah kadar air, berat jenis (*bulk density*), kadar abu dan kadar *volatile matter*. Kadar air yang tinggi dapat menyulitkan penyalaan dan mengurangi temperatur pembakaran. Kadar *volatile matter* yang tinggi pada limbah pertanian mengindikasikan bahwa limbah pertanian mudah menyala dan terbakar, walaupun pembakaran lebih cepat dan sulit dikontrol (Himawanto, 2003).

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi pembakaran bahan padat, antara lain sebagai berikut :

1. ukuran partikel  
partikel yang lebih kecil ukurannya akan lebih cepat terbakar.
2. kecepatan aliran udara  
laju pembakaran biobriket akan naik dengan adanya kenaikan kecepatan aliran udara dan kenaikan temperatur.
3. jenis bahan bakar  
jenis bahan bakar akan menentukan karakteristik bahan bakar, dimana karakteristik tersebut antara lain kandungan *volatile matter* dan kandungan *moisture*.
4. temperatur udara pembakaran  
kenaikan temperatur udara pembakaran menyebabkan semakin pendeknya waktu pembakaran.

Laju pembakaran arang tergantung pada konsentrasi oksigen, temperatur gas, bilangan Reynolds, ukuran dan porositas arang. Arang mempunyai porositas yang tinggi. Porositas arang kayu berkisar 0,9 (Borman dan Ragland, 1998). Untuk kebutuhan keteknikan, adalah lebih tepat menggunakan laju reaksi global (*global reaction rate*) untuk menunjukkan laju pembakaran partikel arang (char). Laju reaksi global dirumuskan dalam istilah laju reaksi massa arang per satuan luas permukaan luar dan persatuan konsentrasi oksigen di luar lapis batas partikel.

Adapun pembakaran arang ditentukan oleh parameter-parameter, antara lain :

- a. rasio luas permukaan partikel per satuan massa bahan bakar.

- b. ketersediaan luas permukaan area permukaan kontak dengan oksigen.
- c. temperatur.
- d. kemampuan oksigen melakukan penetrasi ke dalam pori-pori bahan bakar.
- e. konsentrasi oksigen pada lingkungan partikel bahan bakar.

Model matematis laju pembakaran di dalam sebuah tungku pembakaran, mencerminkan urutan proses pembakaran bahan bakar padat. Pembakaran berlangsung secara cepat, sehingga satu proses berlangsung secara cepat menyusul Dimana,

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

n = 1

$$\frac{dT}{dt} = \frac{U \cdot A}{m \cdot C_p} \cdot (T_h - T) + \frac{(\Delta H - C_p \cdot T)}{m \cdot C_p} \frac{dm}{dt} - \frac{n_{gas} \cdot C_{p gas} (T - T_u)}{m \cdot C_p} \dots\dots\dots(3)$$

$$\frac{dT_h}{dt} = \frac{Q_{Listrik}}{m_{pemanas} \cdot C_{p pemanas}} - \frac{U \cdot A \cdot (T_h - T)}{m_{pemanas} \cdot C_{p pemanas}} \dots\dots\dots(4)$$

Keadaan awal :

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

**METODOLOGI**

Bahan penelitian yang digunakan adalah sampah organik, bungkil jarak, tapioka dan tar (hasil pirolisis). Alat yang digunakan dapur pirolisis, pencetak briket, oven, timbangan, kompressor, bomb kalorimeter, ayakan ukuran 35 mesh, cawan dan tungku pembakaran.

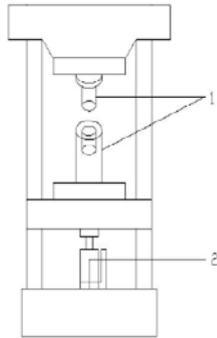
Cara kerja penelitian terdiri dari 5 (lima) tahap. Tahap pertama atau tahap persiapan, pada tahap ini sampah organik dan bungkil jarak dikeringkan ± 3 (tiga) hari. Tahap kedua adalah pengarangan sampah organik dan bungkil jarak pada suhu 450°C selama 5-6 jam. Tahap ketiga, setelah menjadi arang sampah organik dan bungkil jarak di ayak dengan menggunakan ayakan ukuran 35 mesh, selanjutnya di campur dengan menggunakan perekat tapioka dan tar,tetapi

proses sebelumnya. Sementara itu, proses perpindahan panas yang terjadi meliputi proses perpindahan panas secara konduksi dari dinding tungku pembakaran ke permukaan bahan bakar (atau sebaliknya), proses perpindahan panas konveksi dari udara sekitar ke bahan bakar (atau sebaliknya). Adapun model matematis laju pembakaran sebagai berikut :

$$\frac{dm}{dt} = - k_r \cdot m^n \dots\dots\dots(2)$$

sebelum di campur terlebih dahulu dibuat perbandingan komposisi bahan baku sampah organik dan bungkil jarak, 100/0, 75/25, 50/50, 25/75, 0/100 dengan tinggi briket 50 mm, diameter 23 briket mm dan tekanan pencetakan briket sebesar 1,0 kg/cm<sup>2</sup>. Tahap keempat, setelah briket arang yang telah dicetak dan dikering kemudian dilakukan pengujian : keteguhan tekan, nilai kalor, kadar air, kadar abu, kadar zat menguap (*volatile matter*) dan kadar karbon terikat (*fixed carbon*). Tahap kelima, uji laju pembakaran dengan udara masuk ke tungku pembakaran 0,3 m/s.

1. Alat pencetak briket

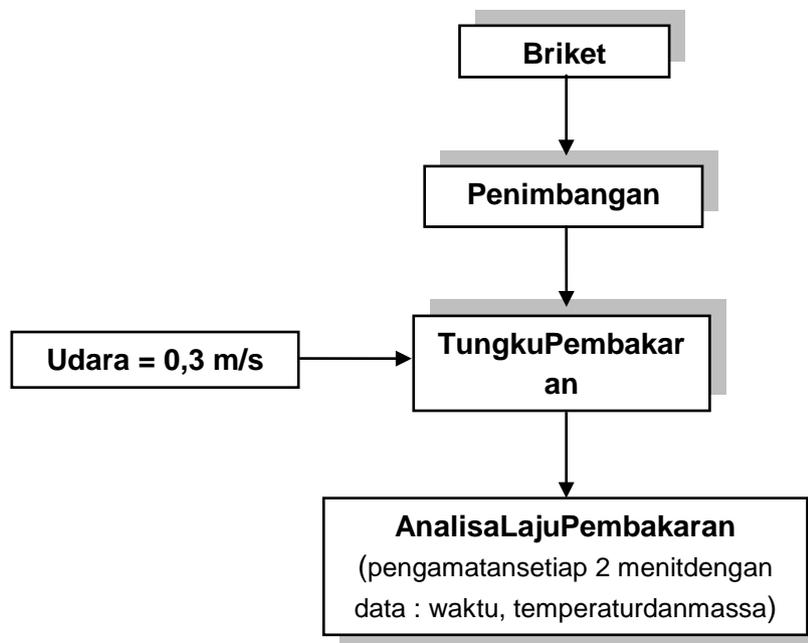


Keterangan :

1. Alat pengepres
2. Dongkrak

Gambar1.Pencetak briket

2. Skema Uji Laju Pembakaran



Gambar2. Skema uji laju pembakaran

## HASIL DAN PEMBAHASAAN

Pembahasan laju pembakaran ditinjau dari segi proses pendekatan model matematis, untuk menentukan harga frekuensi tumbukan ( $A_r$ ), energi aktivasi ( $E_r$ ) dan koefisien perpindahan panas keseluruhan ( $U$ ) pada masing-masing perlakuan komposisi sampah organik dan

bungkil jarak dengan perekat tapioka dan tar. Hurt dan Calo (2001), pada kondisi suhu operasi 700 K dan reaksi orde 2 (dua), harga frekuensi tumbukan ( $A_r$ ) sebesar  $1,28 \times 10^{-4}$  1/g.detik dan energi aktivasi ( $E_r$ ) sebesar  $3,5 \times 10^4$  joule/mol.

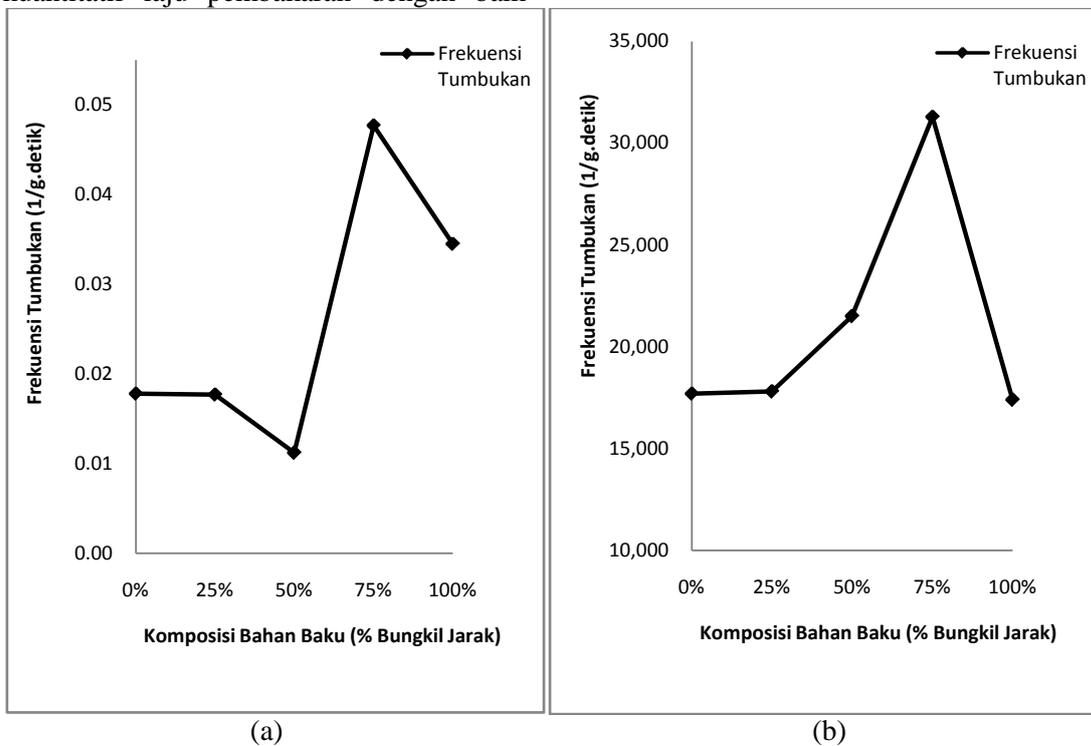
Dari Gambar 3, terlihat kecenderungan naiknya frekuensi tumbukan akibat naiknya kadar bungkil jarak,

meskipun data yang diperoleh tidak terlalu bagus. Dengan logika sederhana, bisa disimpulkan bahwa 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. Pada Gambar 4, meskipun terlihat adanya variasi acak, namun nampak kecenderungan nilai tidak berubah, walaupun dengan naiknya kadar bungkil jarak. Jadi disimpulkan, energi aktivasi arang dari bungkil jarak dan arang sampah organik relatif sama.

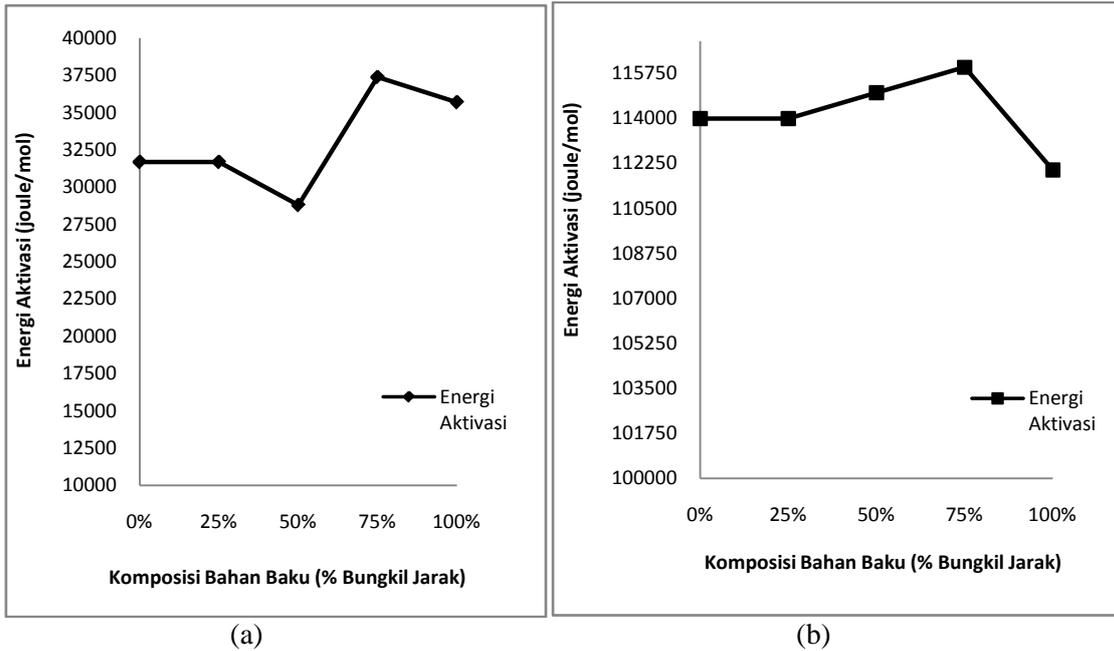
Sedangkan pengaruh komposisi bahan baku dan variasi perekat terhadap pengurangan massa bahan baku dan laju pembakaran ditinjau dengan pendekatan model matematis yang diajukan dapat disimpulkan, bahwa model matematis yang diajukan dapat mendiskripsikan secara kuantitatif laju pembakaran dengan baik

seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6. Pada gambar tampak dijelaskan bahwa pengurangan massa bahan baku terhadap laju pembakaran biobriket dengan perekat tar, lebih stabil di suhu pemanas dan suhu operasi, seperti ditunjukkan pada Gambar 6. (b). Dibanding pengurangan massa bahan baku briket terhadap laju pembakaran dengan perekat tapioka sedikit kurang stabil di suhu operasi, sedang suhu pemanas stabil, seperti ditunjukkan pada Gambar 5. (b).

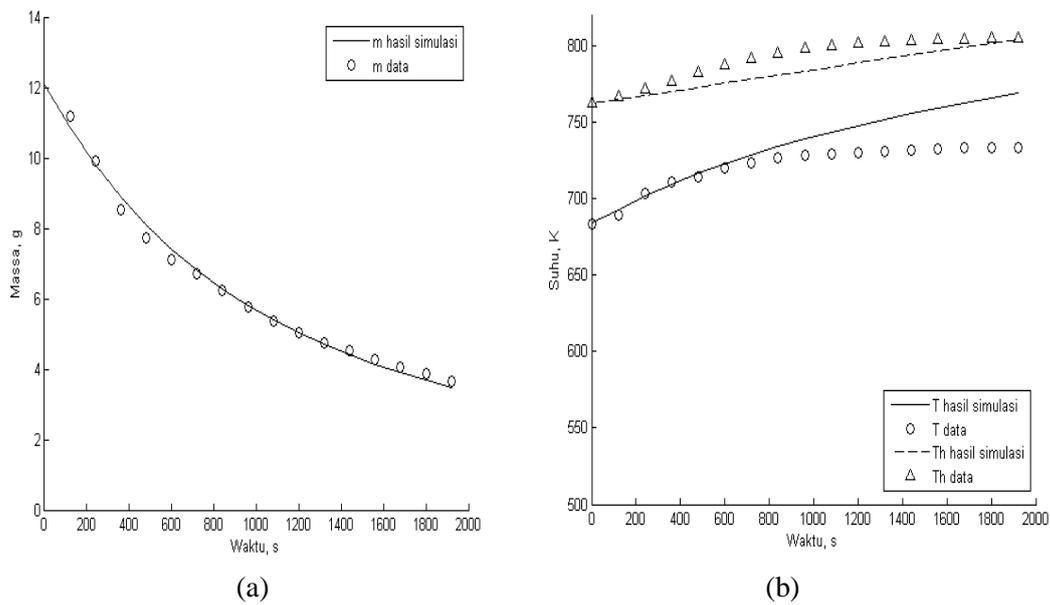
Hal ini disebabkan perekat tar terdiri atas campuran yang sangat kompleks dari senyawa-senyawa hidrokarbon. Adanya unsur hidrokarbon (alifatik dan aromatik) pada zat menguap ini menyebabkan makin tinggi kadar zat yang menguap, sehingga briket arang akan menjadi mudah terbakar karena senyawa alifatik dan aromatik mudah sekali terbakar, sedangkan perekat tapioka yang mempunyai sifat tidak tahan terhadap kelembaban, hal ini disebabkan karena mempunyai sifat dapat menyerap air dari udara (Rustini, 2004).



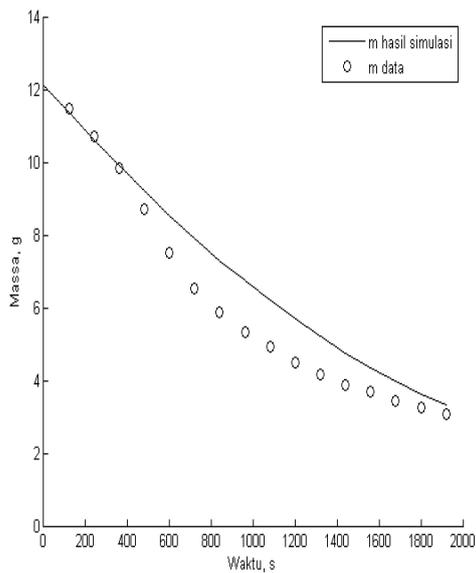
Gambar 3. Frekuensi Tumbukan terhadap komposisi bahan baku dengan menggunakan (a) perekat tapioka dan (b) Perekat tar



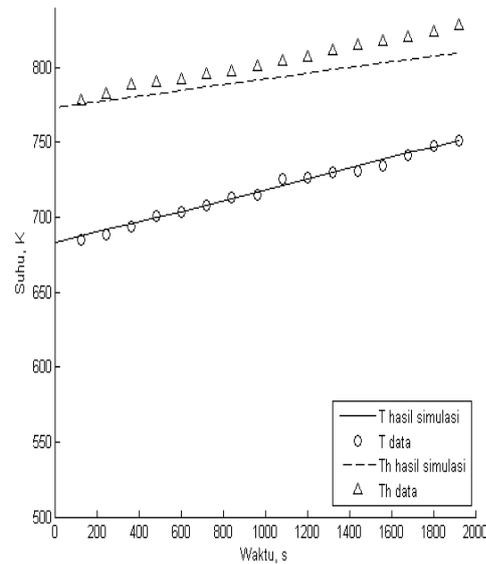
Gambar 4. Energi aktivasi terhadap komposisi bahan baku dengan menggunakan (a) perekat tapioka dan (b) Perekat tar



Gambar 5. 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 6. 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

Dari tinjauan model matematis dan hasil simulasi dengan menggunakan Matlab dapat disimpulkan, bahwa model matematis yang diajukan dapat mendiskripsikan secara kuantitatif laju pembakaran dengan baik. Dari hasil simulasi diperoleh, perlakuan terbaik pada komposisi sampah organik dan bungkil jarak (50/50) menggunakan perekat tapioka, seperti ditunjukkan pada Gambar 5 dan harga 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 dan untuk perlakuan terbaik pada komposisi sampah organik dan bungkil jarak (25/75) menggunakan perekat tar, seperti ditunjukkan pada Gambar 6 dan harga 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.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan :

1. Variasi perbandingan komposisi bahan baku antara sampah organik dan bungkil jarak pada pembuatan

biobriket memberi pengaruh nyata terhadap semua parameter uji.

2. Model matematis dan hasil simulasi dengan menggunakan Matlab yang diajukan dapat mendiskripsikan secara kuantitatif laju pembakaran dengan 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.
3. Model matematis dan hasil simulasi dengan menggunakan Matlab 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 NOTASI

A	: Luas penampang, m <sup>2</sup>
A <sub>r</sub>	: Frekuensi tumbukan, 1/g.detik
C <sub>p</sub>	: Kapasitas panas, joule/g.K
C <sub>p gas</sub>	: Kapasitas panas gas, joule/g.K
C <sub>ppemanas</sub>	: Kapasitas panas pemanas, Joule/g.K
E <sub>r</sub>	: Energi aktivasi, Joule/mol
k <sub>r</sub>	: Konstanta laju kinetika, 1/detik
k <sub>r0</sub>	: Konstanta laju kinetika orde nol, 1/detik
m	: Massa, g
m <sub>a</sub>	: Massa abu, g
m <sub>c</sub>	: Massa char, g
m <sub>o</sub>	: Massa mula-mula, g
m <sub>p</sub>	: Massa partikel bahan bakar, g
m <sub>pemanas</sub>	: Massa pemanas, g
m <sub>v</sub>	: Massa <i>volatile matter</i> , g
Mesh	: Banyak lubang per inci persegi
n	: Orde reaksi
n <sub>gas</sub>	: Molekul-molekul gas, mol
pyr	: Pirolisis
Q <sub>listrik</sub>	: Panas listrik, watt
R <sub>r</sub>	: Konstanta gas ideal, joule/mol.K
t	: Waktu, detik
T	: Temperatur tungku, K
T <sub>d</sub>	: Temperatur dinding luar, K
T <sub>h</sub>	: Temperatur pemanas, K
T <sub>ho</sub>	: Temperatur pemanas mula-mula, K
T <sub>p</sub>	: Temperatur partikel briket, K
T <sub>u</sub>	: Temperatur udara, K
U	: Koefisien perpindahan panas keseluruhan, watt/cm <sup>2</sup> .K
ΔH	: Entalpi, kal/g

## DAFTAR PUSTAKA

- Borman, G. L.; Ragland, K. W; *Combustion Engineering.*, Mc Graw-Hill Book Co, Singapore, 1998.
- Himawanto, D. A.; *Pengolahan Limbah Pertanian Menjadi Biobriket Sebagai*

Salah Satu Bahan Bakar Alternatif, Laporan Penelitian, UNS, 2003.

Naruse, I.; Gani, A; Morishita, K.; *Fundamental Characteristic on Co-Combustion of Low Rank Coal with Biomass*, Proceedings of Riset, Pittsburg, 1999.

Robert H. Hurt.; Joseph, M. Calo.; *Semi-Global Intrinsic for Char Combustion Modeling, Combustion and Flame*, 2001, 125:1138-1149.

Rustini.; *Pembuatan Briket Arang dari Serbuk Gergajian Kayu Pinus (Pinus merkusii Jungh. Et de Vr.) dengan Penambahan Tempurung Kelapa*, Fakultas Kehutanan IPB, Bogor, 2004.