



Karakterisasi Dan Model Matematis Laju Pembakaran Biobriket Campuran Sampah Organik dan Bungkil Jarak (*Jatropha curcas L.*) Dengan Menggunakan Perekat Tapioka

Eddy Kurniawan

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh
Kampus Utama Cot Teungku Nie Reuleut, Muara Batu, Aceh Utara – 24355
E-mail: ediekur@gmail.com

Abstrak

Dampak dari kekhawatiran akan semakin menipisnya dan mahalnya Bahan Bakar Minyak (BBM) semakin terasa dalam beberapa tahun terakhir, menimbulkan pemikiran untuk mengolah biomassa dari sampah organik dan bungkil jarak sebagai energi alternatif. Apabila sampah organik dan bungkil jarak diolah bersama-sama dengan bungkil jarak dengan menggunakan bahan perekat tar akan diperoleh satu bahan bakar padat buatan sebagai bahan bakar alternatif. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi yang terbaik untuk menghasilkan nilai panas pembakaran terbaik pada briket. 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, pengujian bahan baku (nilai kalor), selanjutnya dilakukan karbonisasi, pengayakan (35 mesh), pencampuran bahan baku (sampah organik, bungkil jarak, perekat tapioka), pengepresan dengan tekanan 1 kg/cm² dan tinggi briket 50 mm dengan diameter 23 mm. Pengujian sifat fisik dan kimia dilakukan di laboratorium terhadap briket yang dihasilkan untuk mengetahui besarnya keteguhan tekan, nilai kalor, kadar air, kadar zat menguap (volatile matter), kadar abu dan kadar karbon terikat (fixed carbon). Berdasarkan pendekatan model matematis didapatkan bahwa karakteristik model matematis laju pembakaran briket komposisi sampah organik dan bungkil jarak (50% : 50%) dengan bahan perekat tapioka, lebih cepat terbakar dan suhu yang dicapai optimal. Sehingga 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/m².K.

Kata kunci: briket, bahan perekat, laju pembakaran, variasi komposisi

1. Pendahuluan

Bahan bakar alternatif yang banyak dikembangkan dan diteliti saat ini adalah bahan bakar yang berasal dari biomassa hasil pertanian. Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis, baik berupa produk

maupun limbah. 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. Menurut Yamada et al. (2005), penggunaan bahan bakar biomassa secara langsung dan tanpa pengolahan akan menyebabkan timbulnya penyakit pernafasan yang disebabkan oleh karbon monooksida, sulfur dioksida (SO₂) dan bahan partikulat. Bergman dan Zerbe (2004), menambahkan bahwa konversi biomassa menjadi bentuk yang lebih baik dapat meningkatkan kualitasnya sebagai 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.

Proses pembuatan arang adalah proses penguraian dari bahan organik dengan pemanasan (pirolisis) atau pembakaran tanpa udara yang menghasilkan gas CO, CO₂, CH₄, H₂ dan hidrokarbon ringan, minyak, arang dan abu. Menurut Borman dan Regland (1998), menyatakan laju pirolisis/devolatilisasi bahan padat ditunjukkan dengan pendekatan persamaan reaksi orde pertama dengan konstanta laju Arrhenius :

$$\frac{dm_v}{dt} = -m_v \cdot k_{r \text{ pyr}}$$

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.

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. Karakteristik tersebut antara lain kandungan *volatile matter* dan kandungan air (*moisture*).

4. Temperatur udara pembakaran

Kenaikan temperatur udara pembakaran menyebabkan semakin pendeknya waktu pembakaran.

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 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 :

$$\frac{dm}{dt} = - k_r \cdot m^n \quad (1)$$

Dimana,

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

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

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

Keadaan awal :

1. $t = 0$; $m = m_0$; $T = T_0$; $T_h = T_{ho}$
2. $t = t$; $m = m$; $T = T$; $T_h = T_h$

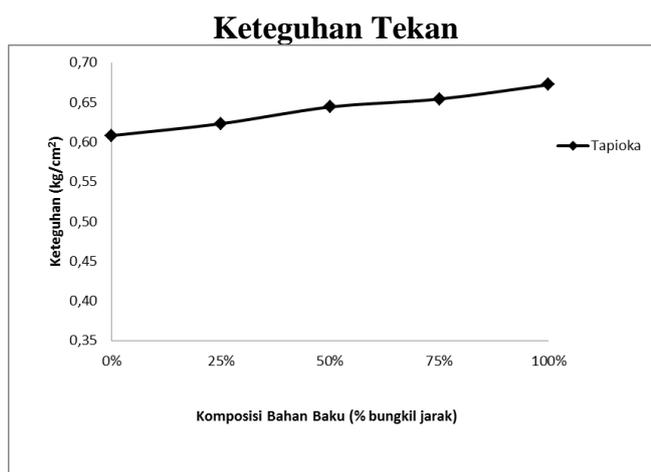
2. Bahan dan Metode

Bahan penelitian yang digunakan adalah sampah organik, bungkil jarak dan tapioka. 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, pada tahap ini sampah organik dan bungkil jarak yang telah menjadi arang masing-masing di ayak dengan ayakan 35 mesh, di campur dengan tapioka sebagai perekat dengan tekanan $1,0 \text{ kg/cm}^2$, tetapi 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. Tahap keempat, setelah briket arang yang telah dicetak kering 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 $0,3 \text{ m/s}$.

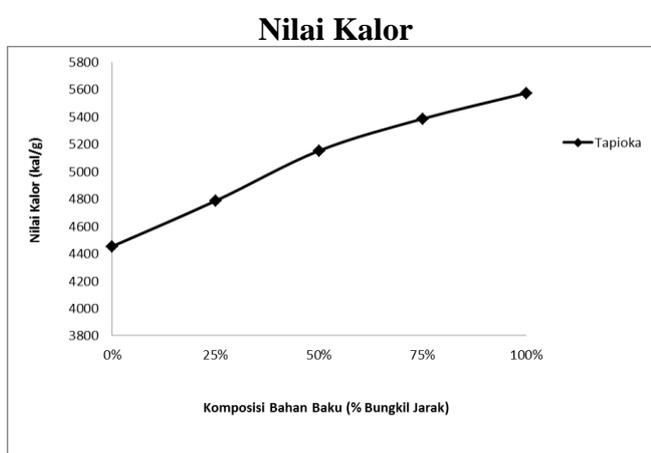
3. Hasil dan Diskusi

Keteguhan tekan terendah sebesar $0,608 \text{ kg/cm}^2$ pada perlakuan komposisi sampah organik dan bungkil jarak (100% : 0%), sedangkan nilai tertinggi sebesar $0,672 \text{ kg/cm}^2$ pada perlakuan komposisi sampah organik dan bungkil jarak (0% : 100%). Pada Gambar 1. tampak dijelaskan bahwa penambahan arang bungkil

jarak mempengaruhi kualitas briket yang dihasilkan. Hal ini dapat dihubungkan dengan peningkatan nilai kerapatan briket, dimana semakin bertambah arang bungkil jarak, maka kekompakan briket juga bertambah sehingga keteguhan tekan juga bertambah.



Gambar 1. Keteguhan tekan terhadap komposisi bahan baku dengan menggunakan perekat tapioka

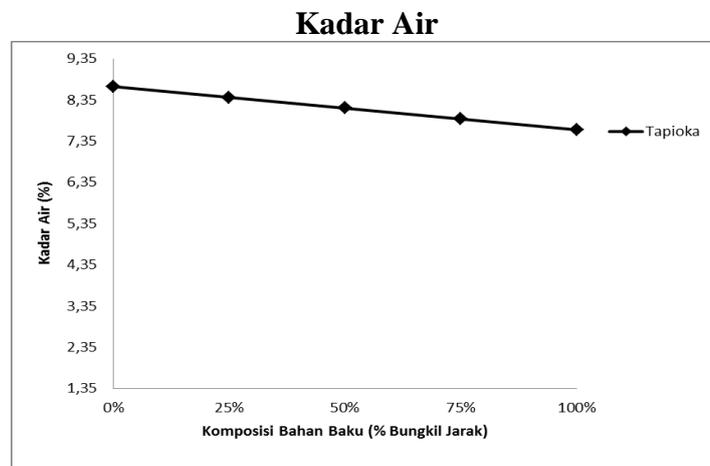


Gambar 2. Nilai kalor terhadap komposisi bahan baku dengan menggunakan perekat tapioka

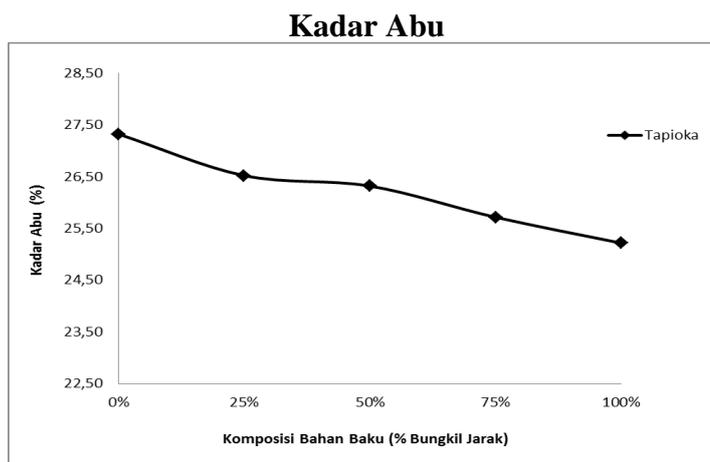
Nilai kalor terendah sebesar 4452,982 kal/g pada perlakuan komposisi sampah organik dan bungkil jarak (100% : 0%), sedangkan nilai tertinggi sebesar 5573,245 kal/g pada perlakuan komposisi sampah organik dan bungkil jarak (0% : 100%). Peningkatan nilai kalor pada briket yang dihasilkan menunjukkan bahwa

arang bungkil jarak memang memiliki nilai kalor yang tinggi karena masih mengandung minyak sisa minyak.

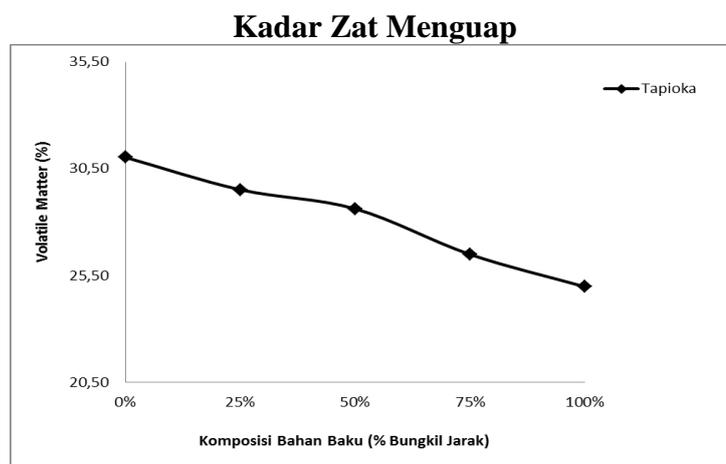
Kadar air terendah sebesar 8,672% pada perlakuan komposisi sampah organik dan bungkil jarak (0% : 100%), sedangkan nilai tertinggi sebesar 7,622% pada perlakuan komposisi sampah organik dan bungkil jarak (100% : 0%). Penggunaan perekat tapioka berpengaruh nyata terhadap kadar air yang dihasilkan. Ini disebabkan karena luas permukaan dan pori-pori, sehingga mampu menyerap air.



Gambar 3. Kadar air terhadap komposisi bahan baku dengan menggunakan perekat tapioka



Gambar 4. Kadar abu terhadap komposisi bahan baku dengan menggunakan perekat tapioka



Gambar 5. Kadar zat menguap terhadap komposisi bahan baku dengan menggunakan perekat tapioka

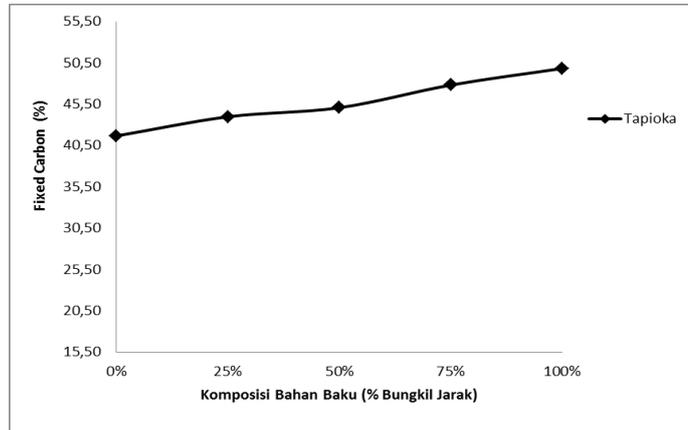
Kadar abu terendah sebesar 27,322% pada perlakuan komposisi sampah organik dan bungkil jarak (0% : 100%), sedangkan nilai tertinggi sebesar 25,213% pada perlakuan komposisi sampah organik bungkil jarak (100% : 0%). Pengurangan arang sampah organik ternyata menurunkan kadar abu, hal ini disebabkan kandungan silika pada sampah organik lebih tinggi dibandingkan kandungan silika pada bungkil jarak.

Kadar zat menguap dapat dilihat pada kandungan asap yang tinggi disebabkan oleh adanya reaksi antar karbon monoksida (CO) dengan turunan alkohol (Triono, 2006). Menurut Hendra (2007), tinggi rendahnya kadar zat menguap briket arang yang menghasilkan dipengaruhi oleh jenis bahan baku, sehingga perbedaan jenis bahan baku berpengaruh nyata menguap briket arang. Kadar zat menguap terendah sebesar 31,030% pada perlakuan komposisi sampah organik dan bungkil jarak (0% : 100%), sedangkan nilai tertinggi sebesar 24,970% pada perlakuan komposisi sampah organik dan bungkil jarak (100% : 0%).

Kadar karbon terikat terendah sebesar 41,648% pada perlakuan komposisi sampah organik dan bungkil jarak (100% : 0%), sedangkan nilai tertinggi sebesar 49,817% pada perlakuan komposisi sampah organik dan bungkil jarak (0% : 100%). Penambahan bungkil jarak ternyata mampu meningkatkan kadar karbon

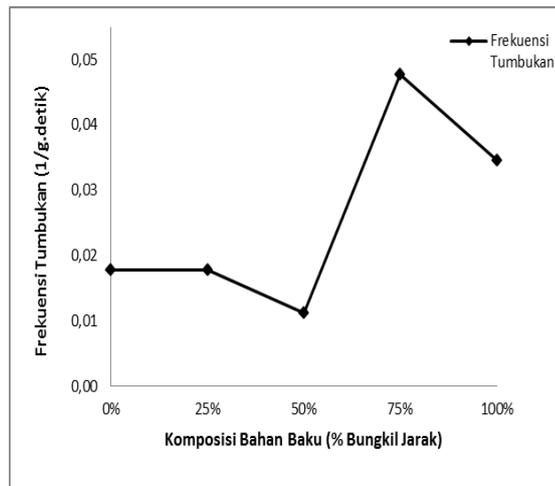
terikat briket. Menurut Masturin (2002), keberadaan kadar karbon terikat di dalam briket arang dipengaruhi oleh nilai kadar zat menguap dan kadar abu.

Kadar Karbon Terikat

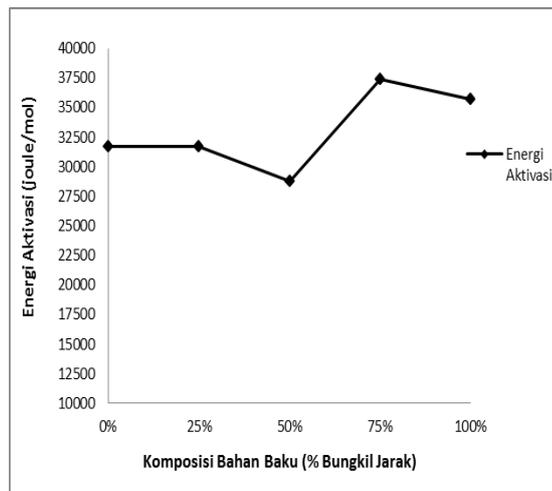


Gambar 6. Kadar karbon terikat terhadap komposisi bahan baku dengan menggunakan perekat tapioka

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. Menurut Hurt dan Calo (2001), pada kondisi suhu operasi 700 K dan reaksi orde 2 (dua) diperoleh 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.

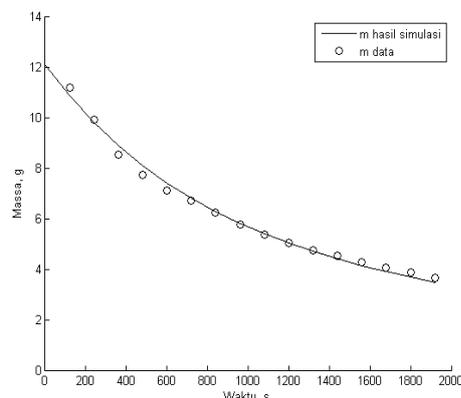


Gambar 7. Komposisi bahan baku dengan menggunakan perekat tapioka terhadap frekuensi tumbukan yang diperoleh

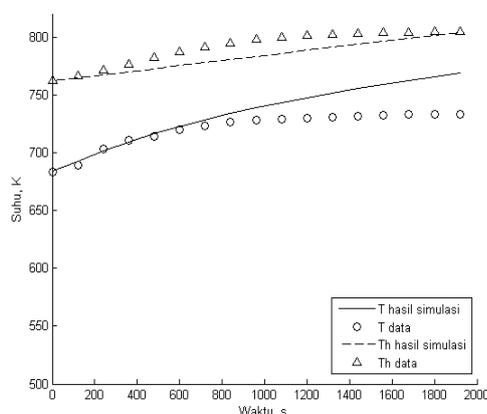


Gambar 8. Komposisi bahan baku dengan menggunakan perekat tapioka terhadap energi aktivasi yang diperoleh

Dari Gambar 7 dan Gambar 8, 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. 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.



Gambar 9. Komposisi bahan baku sampah organik dan bungkil jarak (50%:50%) dengan perekat tapioka terhadap massa bahan baku terhadap waktu operasi.



Gambar 10. Komposisi bahan baku sampah organik dan bungkil jarak (50%:50%) dengan perekat tapioka terhadap suhu pemanasan dan suhu operasi terhadap waktu operasi

Dengan menggunakan konsep teori tumbukan, makin besar konsentrasi, makin besar pula kemungkinan saling tumbukan sehingga reaksi bertambah cepat. Begitu juga halnya dengan luas permukaan, makin luas permukaan, makin banyak tumbukan dan reaksi makin cepat (Micheal Purba, 2004). Menurut Keenan, dkk (1986), menyatakan pada temperatur yang dinaikkan, persentase tumbukan yang mengakibatkan reaksi kimia akan lebih besar, karena makin banyak molekul yang memiliki kecepatan lebih besar dan karenanya memiliki energi cukup untuk bereaksi.

Pengaruh komposisi bahan baku, 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 9, tampak dijelaskan bahwa pengurangan massa bahan baku terhadap laju pembakaran biobriket dengan perekat tapioka, lebih stabil di suhu pemanasan dan suhu operasi. Hal ini disebabkan arang bungkil jarak masih mengandung minyak sisa minyak. Dari hasil simulasi, perlakuan terbaik diambil pada komposisi sampah organik dan bungkil jarak (50% : 50%) menggunakan perekat tapioka, seperti ditunjukkan pada Gambar 9 dan Gambar 10 dan harga Ar, Er dan U yang dihasilkan adalah $1,12 \times 10^{-2}$ 1/g. detik, $2,88 \times 10^4$ joule/mol dan $3,48 \times 10^{-3}$ watt/m². K.

4. Simpulan dan Saran

1. Sampah organik dan bungkil jarak dijadikan biobriket sebagai bahan bakar alternatif, dan sebagai substitusi minyak tanah dan kayu bakar.
2. Variasi perbandingan komposisi bahan baku antara sampah organik dan bungkil jarak pada pembuatan biobriket memberi pengaruh nyata terhadap semua parameter uji.
3. Perekat tar mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap laju pembakaran, karena kandungan kadar zat menguap (*volatile matter*) yang lebih tinggi, akan tetapi briket yang dihasilkan mengeluarkan asap.
4. Model matematis yang diajukan dapat mendeskripsikan 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/m² K.

Daftar Notasi

A	: Luas penampang, m ²
A_r	: Frekuensi tumbukan, 1/g.detik
C_p	: Kapasitas panas, joule/g.K
$C_{p \text{ gas}}$: Kapasitas panas gas, joule/g.K
$C_{p \text{ pemanas}}$: Kapasitas panas pemanas, Joule/g.K
E_r	: Energi aktivasi, Joule/mol
k_r	: Konstanta laju kinetika, 1/detik
k_{r0}	: Konstanta laju kinetika orde nol, 1/detik
m	: Massa, g
m_a	: Massa abu, g
m_c	: Massa char, g
m_o	: Massa mula-mula, g
m_p	: Massa partikel bahan bakar, g
m_{pemanas}	: Massa pemanas, g
m_v	: Massa <i>volatile matter</i> , g
Mesh	: Banyak lubang per inci persegi
n	: Orde reaksi
n_{gas}	: Molekul-molekul gas, mol

p_{ry}	:	Pirolisis
$Q_{listrik}$:	Panas listrik, watt
R_f	:	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_p	:	Temperatur partikel briket, K
T_u	:	Temperatur udara, K
U	:	Koefisien perpindahan panas keseluruhan, watt/cm ² .K
ΔH	:	Entalpi, kal/g

5. Daftar Pustaka

1. 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.
2. Borman., G. L dan Ragland., K. W., 1998, Combustion Engineering, McGraw-Hill Book Co, Singapore.
3. Hendra., D., 2007, Pembuatan Briket Arang dari Campuran Kayu, Bambu, Sabut Kelapa dan Tempurung Kelapa, Bul. Penelitian Hasil Hutan 18 : 1-9.
4. Masturin., A., 2002, Sifat Fisik dan Kimia Briket Arang dari Campuran Arang Limbah Gergajian Kayu [skripsi], Bogor, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
5. Micheal Purba, 2004, Kimia Dasar : Konsep Teori Tumbukan, Penerbit Erlangga, Jakarta.
6. Naruse, I.; Gani, A; Morishita, K., 2001 "Fundamental Characteristic on Co-Combustion of Low Rank Coal with Biomass", Proceedings of Riset, Pittsburg.
7. Robert H. Hurt.; Joseph M. Calo., 2001 "Semi-Global Intrinsic for Char Combustion Modeling, Combustion and Flame", 125:1138-1149.
8. Triono., A., 2006, "Karakteristik Briket Arang dari Campuran Serbuk Gergajian Kayu Afrika (*Maesopsis eminii* Engl.) dan Sengon (*Paraseriathes falcata* L. Nielsen) dengan Penambahan Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera* L.) [skripsi]", Bogor. Departemen Hasil Hutan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

9. Yamada K, M. Kanada., Q. Wang., K. Sakamoto., I. Uchiyama., T. Mizoguchi dan Y. Zhou., 2005. "Utility of Coal Biomassa Briquette for Remedition of Indoor Air Pollution Caused by Coal Burning in Rural Area", In China Procedings : Indoor Air, 2005-3671.