

Kinetika Reaksi Pirolisis Enceng Gondok

Mitha Puspitasari^{a*}, Sutijan^b, Arief Budiman^b

^aProgram Studi D3 Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Kimia,
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta
Jl. SWK 104(Lingkar Utara), Condongcatur, Yogyakarta, 55283, Indonesia
^bJurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta
Jl. Grafika 2, Kampus UGM, Yogyakarta, 55281, Indonesia

Artikel histori :

Diterima 3 Februari 2016
Diterima dalam revisi 31 Maret 2016
Diterima 31 Maret 2016
Online Juni 2016

ABSTRAK: Enceng gondok merupakan tanaman pengganggu dalam ekosistem air karena pertumbuhannya yang sangat cepat sehingga perlu dipikirkan cara untuk pemusnahan tanaman ini. Namun enceng gondok merupakan biomassa yang mempunyai kandungan hemiselulosa, selulosa dan lignin yang tinggi. Pirolisis adalah metode yang tepat untuk mengubah biomassa yang diproses secara termal menjadi produk yang bernilai. Pirolisis merupakan proses degradasi termal untuk menghasilkan *bio-char*, *bio-oil* dan *bio-gas* tanpa adanya oksigen. Tujuan penelitian ini adalah untuk mencari suhu optimum dari proses pirolisis dan mencari parameter kinetika untuk membantu peneliti dalam merancang reaktor dan memahami reaksi yang terjadi. Model yang diusulkan untuk mempresentasikan reaksi pirolisis enceng gondok adalah *Compattig model*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa suhu 600°C merupakan suhu optimum untuk menghasilkan *bio-oil*. Dengan menggunakan program matlab konstanta kinetika reaksi pada pembentukan gas pada proses pirolisis enceng gondok adalah $k_1=3,4997\exp^{-14069,21/RT}\text{men}^{-1}$, konstanta kinetika reaksi pembentukan bio-oil adalah $k_2=0,3430\exp^{-3059,451/RT}\text{men}^{-1}$ dan konstanta kinetika reaksi pembentukan char adalah $k_3=0,2526\exp^{-2313,395/RT}\text{men}^{-1}$.

Kata Kunci: enceng gondok; pirolisis; kinetika

ABSTRACT: Water hyacinth is a weed plant that live in water with very high growth rates that should be considered a way for the destruction of this plant. However, the water hyacinth biomass has a high content of hemicellulose, cellulose and lignin. Pyrolysis is the method to convert biomass into valuable products by the thermal degradation process to produces a bio-char, bio-oil and bio-gas. The purpose of this study was to find the optimum condition of the pyrolysis process and parameters of kinetics, to design the reactor and to understand the reactions that occur. The proposed model presented in the pyrolysis reaction of water hyacinth was Compattig models. The experiment showed that temperature of 600° C was the optimum temperature resulting the best bio-oil. Matlab program was used to determine the kinetic constant of reaction. The constant formation of gas in the pyrolysis process water hyacinth was $k_1=3,4997\exp^{-14069,21/RT}\text{men}^{-1}$. The constant formation of bio-oil and char were $k_2=0,3430\exp^{-3059,451/RT}\text{men}^{-1}$ and $k_3=0,2526\exp^{-2313,395/RT}\text{men}^{-1}$, respectively.

Keywords: water hyacinth, pyrolysis, kinetics

1. Pendahuluan

Enceng gondok (*Eichhornia crassipes*) merupakan tanaman gulma yang hidup terapung pada air dan berkembang biak dengan cepat baik secara vegetatif maupun generatif. Perkembangbiakan dengan cara vegetatif dapat melipat ganda dua kali dalam waktu 7-10 hari (Gunawan and Sahwalita, 2007). Soeb dan Sigh (2000) melaporkan bahwa kecepatan pertumbuhan enceng gondok adalah 17,5 ton/ha/hari, sehingga pemusnahan tumbuhan ini menjadi masalah besar. Padahal dengan proses termal tumbuhan ini dapat dihasilkan *bio-oil*.

Menurut Huang dkk (2013), ada dua cara untuk mengkonversi biomassa menjadi bahan bakar atau kimia yaitu secara termo-kimia dan bio-kimia/biologi. Konversi biomassa secara termo-kimia dapat dilakukan dengan pirolisis, gasifikasi, pembakaran dan sebagainya. Pirolisis biomassa menurut Sharma dkk (2015) dikelompokkan menjadi 2 kelompok utama yaitu *fast* pirolisis dan *slow* pirolisis. *Fast* pirolisis adalah pirolisis dengan pemanasan yang sangat tinggi dengan waktu tinggal gas yang singkat. Sedangkan *slow* pirolisis adalah pirolisis dengan pemanasan dan waktu tinggal uap yang lebih lama,

*Corresponding Author:

Email: mitha.puspita1912@gmail.com

biasanya suhunya lebih rendah dibanding dengan *fast* pirolisis.

Enceng gondok merupakan salah satu biomassa yang dapat dikonversi menjadi *bio-oil* melalui proses pirolisis. Hal ini diperkuat oleh Bhattacharya and Kumar (2010) yang mengemukakan bahwa enceng gondok merupakan tanaman bahan bakar bio yang sangat potensial dikembangkan. Hubber dkk. (2006) juga mengemukakan bahwa lignoselulose dalam biomassa dapat menjadi sumber karbon yang potensial untuk produksi bahan bakar cair terbarukan dan bahan kimia. Sharma dkk (2015) mengemukakan bahwa pirolisis adalah proses dekomposisi termokimia dimana biomassa dirubah menjadi padatan yang kaya karbon dan *volatile matter* tanpa adanya oksigen. Hasil pirolisis biomassa berupa arang (*char*), *bio-oil*, dan gas. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh suhu serta mengetahui parameter kinetika dari pirolisis enceng gondok.

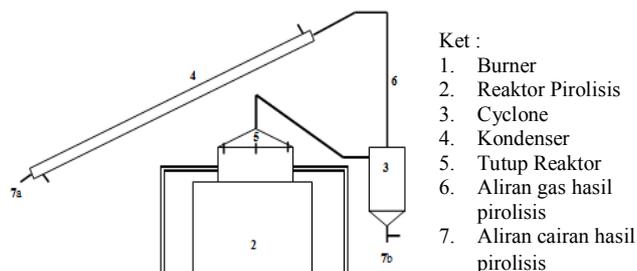
2. Metode Penelitian

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah enceng gondok yang diperoleh dari Waduk Cengklik Boyolali, Jawa Tengah. Biomassa tersebut dikeringkan terlebih dahulu dengan pemanasan sinar matahari dan selanjutnya dipotong 10 cm, serta ditimbang sesuai kebutuhan untuk percobaan pirolisis.

Tabel 1. Komposisi yang terkandung dalam enceng gondok

Komposisi lignoselulosa	
• Hemiselulosa %	35,9807
• Selulosa %	14,9092
• Lignin %	16,2248
• Lain-lain	32,8853
Analisis Proximat	
• Kadar air, %	19,0588
• Volatile matter, %	53,5377
• Kadar abu, %	13,4600
• Kadar karbon terikat, %	41,8303
• Nilai kalor, cal/gr	2986,3211
Analisa Ultimat	
• C %	33,91
• H %	6,09
• O %	42,86
• N %	1,2
• S %	0,15

Enceng godok yang dipakai hanyalah bagian batang dan daun saja. Komposisi enceng gondok dapat dilihat pada Tabel 1



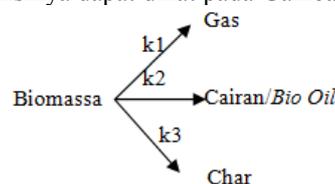
Gambar 1. Rangkaian Alat Pirolisis

Rangkaian alat yang digunakan pada proses pirolisis ditunjukkan pada Gambar 1. Proses pirolisis yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode slow pirolisis.

Konfigurasi alat terdiri dari reaktor dengan diameter 25 cm, tinggi 47 cm yang dilengkapi dengan *cyclone* berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk memisahkan hasil gas dan padatan.

3. Model Kinetika

Menurut Sun dkk (2011) pirolisis biomassa dianggap reaksi orde satu. Thurner dan Mann (1981) mempresentasikan pirolisis biomassa menggunakan *Compating model*. Mekanisme reaksinya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Mekanisme reaksi pirolisis

Dari mekanisme reaksi di atas dapat diturunkan ke dalam persamaan neraca massa sebagai berikut:

Neraca massa Enceng gondok (m_B)

$$\frac{dm_B}{dt} = -(k_{ov})m_B \quad (1)$$

Neraca massa gas (m_G)

$$\frac{dm_G}{dt} = k_1 m_B \quad (2)$$

Neraca massa cairan/*bio-oil*

$$\frac{dm_T}{dt} = k_2 m_B \quad (3)$$

Neraca massa Char

$$\frac{dm_C}{dt} = k_3 m_C \quad (4)$$

Kondisi mula-mula untuk persamaan 2 sampai 4 adalah :

$$\begin{aligned} \text{Pada } t = 0; \quad m_{Bt=0} &= m_{B0}; \quad m_{Gt=0} = 0; \quad m_{Tt=0} = 0; \\ m_{Ct=0} &= 0; \end{aligned}$$

Dalam hal ini t dalam menit dan m dalam gram. Proses pirolisis yang dipelajari merupakan proses non-isotermal sehingga terjadi kenaikan suhu dari kondisi lingkungan sampai waktu tak hingga. Untuk mempelajari fenomena kenaikan suhu ini dapat didekati dengan persamaan (5), yaitu saat kenaikan suhu dari awal hingga suhu tercapai dan saat suhu telah tercapai .

$$\frac{dT}{dt} = aT^b \quad (5)$$

Persamaan Arrhenius digunakan untuk menghitung konstanta kecepatan reaksi pada persamaan 1 sampai dengan 4, yakni dengan menggunakan persamaan 6.

$$k = A \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \quad (6)$$

Pada saat $T=T_0$

$$k_0 = A \exp\left(-\frac{E}{RT_0}\right) \quad (7)$$

dengan satuan T dalam $^{\circ}\text{C}$ dan k dalam menit^{-1} .

Dengan menentukan nilai parameter kinetika k_{10} , k_{20} , k_{30} , dan energi aktivasi E_1 , E_2 , E_3 (J/mol) maka persamaan Arrhenius dapat menjadi

$$k_1 = k_{10} \exp\left[-\frac{E_1}{R}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right] \quad (8)$$

$$k_2 = k_{20} \exp\left[-\frac{E_2}{R}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right] \quad (9)$$

$$k_3 = k_{30} \exp\left[-\frac{E_3}{R}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right] \quad (10)$$

Setelah nilai parameter kinetika k_{10} , k_{20} , k_{30} didapat dikembalikan untuk menghitung nilai faktor tumbukan (A menit^{-1}) menggunakan persamaan 11.

$$A = k_0 \exp\left(\frac{E}{RT_0}\right) \quad (11)$$

Dari hasil penelitian akan diperoleh data massa gas, massa cairan tiap waktu dan massa *char* pada waktu dan suhu tertentu. Kemudian data tersebut diubah menjadi fraksi massa dengan membagi massa tiap produk dengan massa biomassa awal. Setelah dimasukkan ke persamaan yang ada diselesaikan secara numeris. Untuk memperoleh nilai k_{10} , k_{20} , k_{30} , E_1 , E_2 , E_3 , a , b . Nilai R square (R^2) sebagai selisih antara massa produk pirolisis dari data eksperimen dengan massa produk pirolisis terhitung (simulasi) dan nilai k diperoleh pada nilai R^2 yang paling mendekati 1. Persamaan 12 digunakan untuk mencari nilai

R^2 . Nilai parameter kinetika (k_0) dan nilai energi aktivasi (E) dapat digunakan untuk menghitung k dari model yang diusulkan.

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{res}}{SS_{tot}} \quad (12)$$

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Pengaruh suhu dan perolehan *yield*

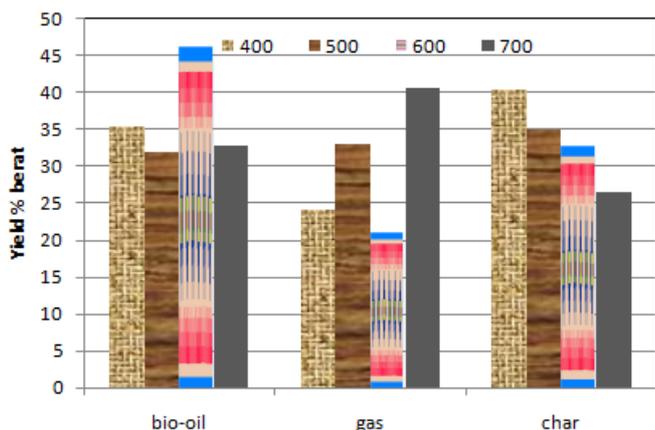
Produk yang diperoleh dari proses pirolisis adalah padatan (*bio-char*), cair (*bio-oil*) dan gas. Gas yang dihasilkan dari proses pirolisis selanjutnya dikondensasikan melalui kondenser sehingga diperoleh tar berwujud cair. Sedangkan *non-condensable gas* akan tetap diperoleh dalam wujud gas. Diantara produk yang dihasilkan pada proses pirolisis, *bio-oil* merupakan produk utama yang diinginkan.

Menurut Kittiphop dkk (2012) proses pirolisis untuk memproduksi *bio-oil* dilakukan pada suhu 450-600 $^{\circ}\text{C}$. Shafizadeh dan Chin (1977) mengatakan bahwa pembentukan *char*, *bio-oil* dan gas merupakan hasil dekomposisi dari selulosa, hemiselulosa dan lignin. Hemiselulose yang merupakan komponen paling stabil terurai pada 498-598 K, selulosa pada 598-648 K dan pada suhu 523-773 K untuk lignin.

Hasil percobaan pengaruh suhu dan perolehan *yield* dapat dilihat pada Gambar 3. Dari hasil percobaan yang telah dilakukan, banyaknya *bio oil* yang terbentuk terjadi pada suhu 600 $^{\circ}\text{C}$ yaitu sebesar 46,2%. Sedangkan pada suhu operasi 400, 500 dan 700 $^{\circ}\text{C}$ *yield bio-oil* yang diperoleh tidak terlalu signifikan. Pada suhu 700 $^{\circ}\text{C}$ terbentuk *bio-oil* yang hampir sama jumlahnya pada saat suhu 500 $^{\circ}\text{C}$, akan tetapi dalam mencapai suhu 700 $^{\circ}\text{C}$ energi yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi ini sangat besar sehingga penggunaan suhu tersebut tidak efisien. Hasil padatan (*char*) menunjukkan semakin tinggi suhu mengalami penurunan. Dan hasil gas semakin tinggi suhu mengalami kenaikan hal ini dikarenakan terjadi penguapan senyawa organik dan dekomposisi hemiselulosa, selulosa dan lignin. Dari hasil percobaan tersebut diperoleh suhu optimal untuk menghasilkan *bio-oil* paling banyak adalah pada suhu 600 $^{\circ}\text{C}$. Sedangkan untuk suhu operasi diatas 600 $^{\circ}\text{C}$, *yield* produk yang paling banyak adalah gas. Pada suhu yang tinggi biomassa akan cenderung terkonversi menjadi gas *noncondensable* dibandingkan produk *bio-oil*. Distribusi produk pirolisis pada penelitian ini tersaji pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisis pirolisis.

T, $^{\circ}\text{C}$	Massa Bio oil, gr	Massa Gas, gr	Massa Char, gr
400	177	121	202
500	160	165	175
600	231	105	164
700	164	203	133



Gambar 3. Yield produk pirolisis

4.2. Kinetika Reaksi

Model kinetika *Comparting* Model adalah model yang dipilih untuk mempresentasikan fenomena yang terjadi pada pirolisis enceng gondok. Energi aktivasi pada penelitian ini diperlukan untuk memecah ikatan yang ada pada enceng gondok agar menghasilkan gas, *bio-oil* dan *char*. Energi aktivasi merupakan energi minimum yang harus dimiliki oleh molekul-molekul reaktan agar menghasilkan reaksi jika saling bertumbukan.

Sebagai catatan, parameter kinetika pembentukan gas, *bio-oil* dan gas yaitu nilai $k_{10}, k_{20}, k_{30}, E_1, E_2, E_3$ dihitung menggunakan program matlab dan untuk mendapatkan nilai parameter A_1, A_2 dan A_3 digunakan rumus pada persamaan (11). Nilai konstanta kecepatan reaksi pirolisis enceng gondok tersaji pada Tabel 3. Dari Tabel tersebut dapat dilihat pula bahwa energi aktivasi untuk pembentukan gas lebih besar dari pada energi aktivasi untuk pembentukan produk lain.

Tabel 3. Konstanta kecepatan reaksi pirolisis enceng gondok

$k_{10} \text{ men}^{-1}$	3,49
$k_{20} \text{ men}^{-1}$	0,34
$k_{30} \text{ men}^{-1}$	0,25
$E_1 \text{ (J/mol)}$	14069,21
$E_2 \text{ (J/mol)}$	3059,45
$E_3 \text{ (J/mol)}$	2313,39

7. Kesimpulan

Suhu optimum pirolisis enceng gondok untuk menghasilkan bio-oil adalah pada suhu 600°C. Konstanta kinetika reaksi untuk pirolisis enceng gondok pada pembentukan gas adalah $k_1=3,4997 \exp^{-14069,21/RT} \text{ men}^{-1}$, konstanta kinetika reaksi pembentukan bio-oil adalah $k_2=0,3430 \exp^{-3059,451/RT} \text{ men}^{-1}$ dan konstanta kinetika reaksi pembentukan char adalah $k_3=0,2526 \exp^{-2313,395/RT} \text{ men}^{-1}$.

Daftar Pustaka

- Bhattacharya, A. and Kumar, P., 2010, Water Hyacinth as a Potential Biofuel Crop, *EJEAFChe*, 9 (1), 112-122.
- Gunawan, P. Dan Sahwalita, 2007, Pengolahan Enceng Gondok sebagai Bahan Baku Kertas Seni, Prosiding Ekspose Hasil-hasil Penelitian, Padang.
- Huang, Y. H., Chiueh, P.T., Kuan, W. H., and Lo, S. L., 2013, Pyrolysis kinetics of biomass from product information, *Appl Energ*, 110, 1-8.
- Hubber, G.W., Iborra, S., and Corma, A., 2006, Synthesis of Transportation Fuels from Biomass: Chemistry, Catalysts, and Engineering. *Chem Rev*. 106, 4044-4098.
- Kittiphop, P., 2012, Physicochemical of Bio-Oil from Three Residual Plants Produced by Continous Pyrolysis Reactor, *Int J Chem React Eng*, 3, 2.
- Shafizadeh, F. and Chin, P. P. S., 1977, Thermal deterioration of wood, *ACS Symp. Ser.*, 57-81.
- Sharma, A., Pareek, V., & Zhang, D., 2015, Biomass pyrolysis- A review of modeling, process parameter and catalytic studies, *Renew Sust Energ Rev*, 50, 1081-1096.
- Shoeb, F. and Singh, H.J., 2002, Kinetic Studies of Biogas Evolved from Water Hyacinth, 2nd, *Symp Enviro Agro*, pp 138.
- Sun, L., Chen, J.Y., Negulescu, I.I., Moore, M.A., and Collier, B.J., 2011. Kinetics modeling of dynamic pyrolysis of bagasse fibers, *Bioresource Technol*, 102 (2), 1951-1958.
- Turner, F. and Mann, U., 1981, Kinetic Investigation of Wood Pyrolysis. *Ind Eng Chem Fund*, 20: 482-488