

STUDI KINETIKA PIROLISIS SERBUK KAYU ULIN MENGGUNAKAN ANALISIS TERMOGRAVIMETRI

STUDY KINETIC PYROLYSIS OF ULIN WOOD POWDER USING THERMOGRAVIMETRIC ANALYSIS

Dhea Nur Adha, R.R. Dirgarini Subagyo^{*}, Rahmat Gunawan

Laboratorium Kimia Fisik, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman, Jalan Barong Tongkok No. 4 Kampus Gunung Kelua, Samarinda, Indonesia

^{*}Corresponding Author: dirgarini@fmipa.unmul.ac.id

Diterbitkan: 30 Oktober 2023

ABSTRACT

A kinetic study of ironwood powder pyrolysis using thermogravimetric analysis has been conducted. This study aims to determine the thermal decomposition process and determine the activation energy value of ironwood powder pyrolysis using the free Kissinger-Akahira-Sunose (KAS) and Friedman models. Pyrolysis in this study used heating rates of 10, 15, 20, and 25 °C/minute. The active temperature range of ironwood powder pyrolysis was 130.88 – 552.21°C. The thermal decomposition process occurred in three stages, namely 1. evaporation of water or moisture, 2. active pyrolysis for the decomposition of hemicellulose, cellulose and lignin compounds, and 3. passive pyrolysis caused by gasification and the formation of non-volatile carbon compounds which evaporate to form CO and CO₂ gases at high temperatures. The average activation energy of the pyrolysis of ironwood powder using the Kissinger-Akahira-Sunose (KAS) and Friedman methods were 137.34 ± 30.05 kJ/mol and 147.83 ± 36.66 kJ/mol, respectively.

Keywords: Kinetic Study, Iron Wood Powder, Thermogravimetric Analysis

ABSTRAK

Studi kinetika pirolisis serbuk kayu ulin menggunakan analisis termogravimetri telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proses dekomposisi termal dan menentukan nilai energi aktivasi dari pirolisis serbuk kayu ulin menggunakan model free Kissinger-Akahira-Sunose (KAS) dan Friedman. Pirolisis pada penelitian ini menggunakan variasi laju pemanasan yaitu 10, 15, 20, 25 °C/menit. Rentang suhu aktif dari pirolisis serbuk kayu ulin yaitu 130,88 – 552,21 °C. Dekomposisi termal serbuk kayu ulin terjadi melalui tiga tahapan, yaitu 1. tahap penguapan air atau *moisture*, 2. pirolisis aktif untuk dekomposisi senyawa hemiselulosa, selulosa dan lignin, dan 3. pirolisis pasif yang disebabkan oleh gasifikasi dan pembentukan senyawa karbon *non volatile* yang menguap membentuk gas CO dan CO₂ pada suhu tinggi. Nilai energi aktivasi rata-rata dari pirolisis serbuk kayu ulin menggunakan metode Kissinger-Akahira-Sunose (KAS) dan Friedman masing-masing sebesar $137,34 \pm 30,05$ kJ/mol dan $147,83 \pm 36,66$ kJ/mol.

Kata kunci: Studi Kinetika, Serbuk Kayu Ulin, Analisis Termogravimetri.

PENDAHULUAN

Biomassa merupakan semua bahan-bahan yang berasal dari organisme baik hewan, tumbuhan dan produk sampingnya. Biomassa yang mudah ditemui dan melimpah di Indonesia salah satunya adalah kayu ulin. Kayu ulin (*Eusideroxylon zwageri*) sering juga disebut

sebagai kayu besi karena sifat dari kayu ulin awet dan kuat. Kayu ulin termasuk dalam famili *Lauraceae* yang tumbuh secara alami di hutan Bangka Belitung, Jambi, Sumatera Selatan dan Kalimantan [1]. Kayu ulin juga memiliki nilai kalor sebesar 6.628-6.986 cal/gr [2] sehingga sangat baik digunakan untuk bahan bakar. Biomassa dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif melalui suatu proses konversi dengan

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



biaya yang rendah dan menghasilkan produk yang ramah lingkungan. Konversi biomassa menjadi *bio-oil* dapat menggunakan konversi termokimia yaitu menggunakan metode pirolisis. Pirolisis adalah suatu proses penguraian secara termokimia yang terjadi pada bahan organik (biomassa) melalui suatu proses pemanasan menggunakan sedikit oksigen ataupun tanpa adanya oksigen. Dimana pada bahan organik tersebut akan terjadi pemecahan struktur kimia menjadi fase gas [3]. Produk yang dihasilkan dari metode pirolisis berupa gas, *char* dan *bio-oil*. Untuk mengetahui apakah pirolisis dapat berjalan secara optimal maka perlu dipelajari studi kinetika pirolisis biomassa dengan menggunakan analisis termogravimetri. Analisis termogravimetri dapat mengidentifikasi karakteristik dari pengurangan massa sampel sebagai fungsi dari kenaikan suhu selama proses berlangsung [4]. Hasil analisis TGA tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan parameter kinetika dekomposisi termal menggunakan *model-free* yaitu Kissinger-Akahira-Sunose (KAS) dan Friedman. Kedua *model-free* tersebut tidak memerlukan mekanisme reaksi atau skema reaksi dalam penentuan nilai energi aktivasinya [5]. Hasil yang diperoleh dari analisis menggunakan metode KAS dan Friedman adalah nilai energi aktivasi yang dapat memberikan indikasi apakah proses pirolisis dapat dilakukan dengan efisien jika dipandang dari sudut pandang termodinamika.

Pada penelitian ini dilakukan studi kinetika pirolisis serbuk kayu ulin menggunakan analisis termogravimetri. Selanjutnya nilai energi aktivasi dihitung dengan menggunakan metode KAS dan Friedman.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu neraca analitik dan TAG 16 *Simultaneous Symmetrical Thermo Analyzer*. Bahan-bahan yang digunakan yaitu gas nitrogen dan udara yang diperoleh dari *Air Liquide* dan limbah serbuk kayu ulin yang diperoleh dari CV. Enggal Jaya di Jl. Cipto Mangunkusumo, Samarinda. Serbuk kayu ulin yang digunakan memiliki kadar air sebesar $11 \pm 0,2\%$, kadar α -selulosa sebesar $41 \pm 11\%$, kadar hemiselulosa sebesar 16% dan kadar lignin sebesar $39 \pm 1,03\%$.

Prosedur Penelitian

Preparasi Sampel Serbuk Kayu Ulin

Sampel serbuk kayu ulin dikeringkan terlebih dahulu kemudian diayak menggunakan ayakan 100 mesh. Kemudian diambil serbuk kayu ulin yang berukuran 100 mesh untuk dianalisis menggunakan *termogravimetry analyser*.

Analisis Termogravimetri

Studi kinetika pirolisis kayu ulin dan pirolisis kayu meranti dengan dan tanpa katalis Ni/SBA dilakukan dengan TGA dalam nitrogen dan udara (air) dengan menggunakan Setaram TAG 16 *Simultaneous Symmetrical Thermo Analyser* menggunakan metode yang dilakukan oleh Miten (2019) [6]. Sebanyak 0-20 mg sampel dimasukkan ke dalam cangkir alumina. Sampel dialiri oleh nitrogen dengan laju alir 140 mL/menit selama 600 detik pada suhu kamar. Selanjutnya sampel dipanaskan hingga 850°C dengan laju pemanasan 10, 15, 20, 25 °C/menit (laju alir N₂ 140 mL/menit). Suhu dipertahankan selama 1200 detik dalam aliran gas nitrogen, selanjutnya aliran gas nitrogen diubah menjadi aliran udara (air) dengan laju alir 70 mL/menit pada suhu yang sama selama 1200 detik. Suhu diturunkan hingga 20 °C pada kecepatan 20 °C/menit dalam aliran udara (70 mL/menit) suhu dipertahankan selama 1800 detik dalam aliran N₂ (70 mL/menit).

Teknik Analisis Data

Data-data yang diperoleh dalam penelitian ini berupa Termogram (temperatur dan massa sampel). Suhu awal dan suhu akhir pirolisis aktif ditentukan melalui kurva TG dan DTG, dimana suhu awal pirolisis aktif merupakan titik akhir dari puncak pertama dan suhu akhir pirolisis aktif merupakan titik akhir ketika kurva TG mulai landai atau konstan.

Termogram dianalisis menggunakan 2 model kinetika yaitu KAS (Kissinger-Akahira-Sunose) dan Friedman guna mendapatkan nilai energi aktivasi. Nilai konversi α yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 dan 0,9. Nilai konversi α merupakan proporsi bahan organik yang mudah menguap atau diuapkan pada suhu pirolisis tertentu (jumlah bahan organik yang hilang dibagi dengan total bahan organik yang mudah menguap).

Adapun persamaan KAS untuk menentukan energi aktivasi seperti :

$$\ln \frac{\beta}{T^2} = \ln \frac{AR}{E_{ag}(\alpha)} - \frac{E_a}{RT} \quad (1)$$

Dari persamaan di atas, nilai energi aktivasi (E_a) dapat dihitung dari kemiringan garis lurus (slope) setelah nilai dari masing-masing energi aktivasi pada α di plotkan pada grafik $\ln \frac{\beta}{T^2}$ dengan $1/T$ yang didapatkan dari termogram, dimana $\ln \frac{\beta}{T^2}$ sebagai sumbu Y dan $1/T$ sebagai sumbu X. Selanjutnya persamaan Friedman [3]

$$\ln \left(\frac{d\alpha}{dt} \right) = \ln \left[\beta_i = \left(\frac{d\alpha}{dT} \right)_{\alpha,i} \right] = \ln [A\alpha f(\alpha)] = \frac{E_a}{RT} + \ln A + \ln f(\alpha) \quad (2)$$

Dengan memplotkan $\left[\beta_i = \left(\frac{d\alpha}{dT} \right)_{\alpha,i} \right]$ sebagai sumbu Y dan $1/T$ sebagai sumbu X maka akan diperoleh nilai E_a dari kemiringan garis lurus (slope) [7].

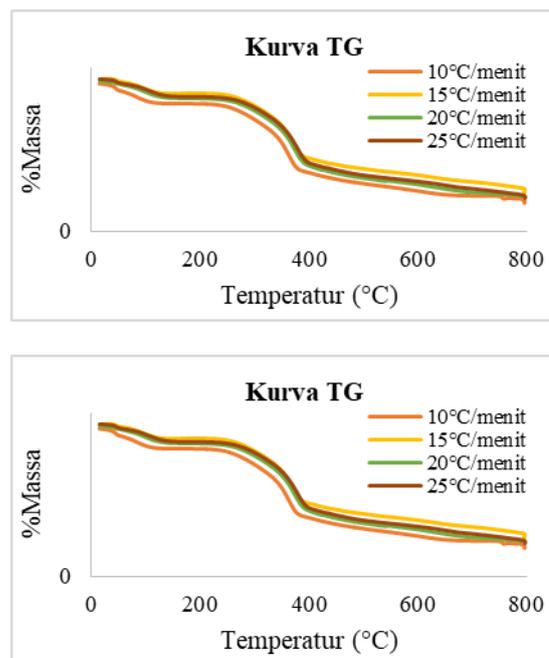
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pirolisis serbuk kayu ulin dilakukan menggunakan laju pemanasan yang bervariasi yaitu 10, 15, 20 dan 25°C/menit dengan metode termogravimetri

Tabel 1. Rentang Suhu Aktif Pirolisis Serbuk Kayu Ulin Pada Setiap Laju Pemanasan

Laju Pemanasan	Serbuk Kayu Ulin	
	Tawal	Takhir
10°C/menit	130,88°C	481,33°C
15°C/menit	151,93°C	497,75°C
20°C/menit	153,05°C	505,12°C
25°C/menit	170,54°C	552,21°C

Tabel 1 menunjukkan bahwa suhu awal dan suhu akhir pirolisis serbuk kayu ulin meningkat seiring dengan meningkatnya laju pemanasan. Hal tersebut dikarenakan Pada laju pemanasan yang rendah, pemanasan yang terjadi pada partikel biomassa akan bergerak secara lambat sehingga perpindahan panas akan berjalan lebih baik ke dalam bagian partikel biomassa. Namun apabila laju pemanasan yang digunakan lebih tinggi maka semakin banyak energi panas yang akan mendorong perpindahan panas yang efektif dengan kehilangan yang terjadi antara lingkungan sekitar dengan bagian dalam sampel biomassa [8].



Gambar 1. (a) Kurva TG (b) Kurva DTG

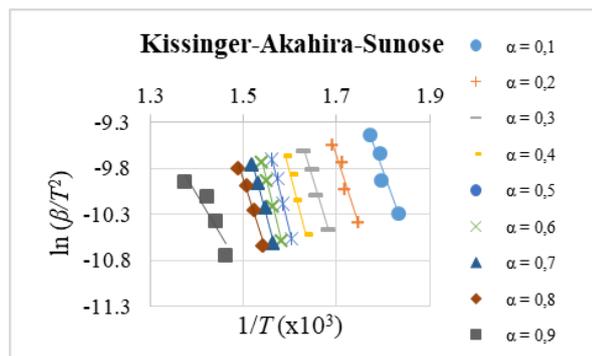
Tabel 2. Tahapan Proses Pirolisis Serbuk Kayu Ulin

Tahap	Serbuk Kayu Ulin	
	Suhu°C	Pengurangan Massa (%)
Pertama	≤130°C	9-14%
Kedua	±130-552°C	50-55%
Ketiga	≥552°C	13-16%

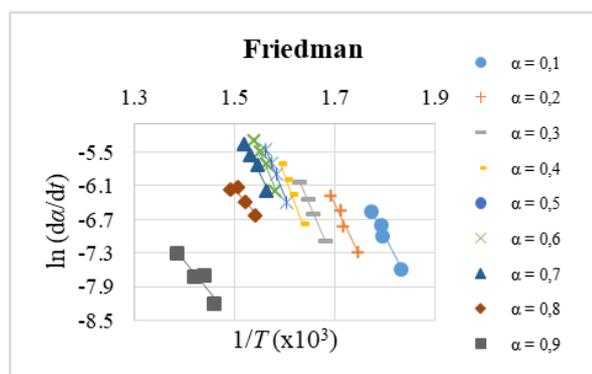
Tabel 2 menampilkan tahapan pirolisis serbuk kayu ulin. tahapan pirolisis dibagi menjadi 3 tahapan yaitu penguapan air, pirolisis aktif dan pirolisis pasif yang merupakan keadaan ketika proses pirolisis telah mencapai kesetimbangan dan sudah tidak mengalami dekomposisi lagi. Pada tahap pertama terjadi penguapan air pada suhu ≤130°C dengan pengurangan massa sebesar 9-14%. Pada tahap kedua yaitu pirolisis aktif (proses dekomposisi senyawa hemiselulosa, selulosa dan lignin) terjadi pada suhu ±130-552°C dengan pengurangan massa sebesar 50-55%. Kemudian untuk tahap ketiga yaitu pirolisis pasif (dekomposisi senyawa yang disebabkan oleh gasifikasi serta pembentukan senyawa karbon *non volatile* yang menguap membentuk gas CO dan CO₂ pada suhu tinggi. Pirolisis pasif ini terjadi pada suhu ≥552°C dengan pengurangan massa sebesar 13-16%.

Analisis Kinetika Pirolisis Menggunakan Metode Model *Free*

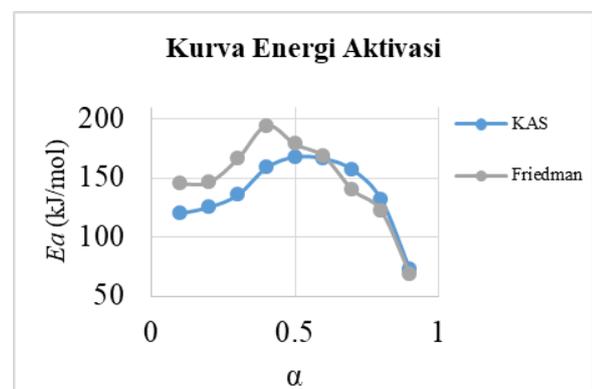
Pada penelitian ini digunakan metode model *Free*, metode model *Free* dapat memprediksi nilai kinetika yang lebih akurat dengan menggunakan tingkat konversi (α) biomassa dengan fungsi suhu dan konsisten untuk menganalisis data non-isotermal sehingga energi aktivasi dapat ditentukan tanpa perlu mengasumsikan dengan segala bentuk model reaksi [9].



Gambar 2. Kurva Plot Arrhenius Metode KAS



Gambar 3. Kurva Plot Arrhenius Metode Friedman



Gambar 4. Kurva Energi Aktivasi Metode KAS dan Friedman

Tabel 3. Perbandingan Energi Aktivasi Pada Metode KAS dan Friedman

Energi Aktivasi rata-rata	KAS	Friedman
Serbuk Kayu Ulin	137,34±30,05 kJ/mol	147,83±36,66 kJ/mol

Gambar 4 menunjukkan kurva perbandingan energi aktivasi dan nilai konversi dari kedua model *Free* yaitu metode KAS dan Friedman untuk pirolisis serbuk kayu Ulin. Berdasarkan Gambar 4 di atas pada tiap nilai konversi dihasilkan energi aktivasi yang berbeda-beda dikarenakan perbedaan proses dekomposisi komponen biomassa pada rentang suhu pirolisis tersebut. Dekomposisi komponen serbuk kayu ulin terjadi secara bertahap sehingga mekanismenya akan berubah saat reaksi berlangsung. Energi aktivasi yang mengalami peningkatan secara bertahap pada awalnya mengindikasikan adanya dekomposisi bahan organik yang rendah dan penguapan air yang lebih kecil. Berdasarkan Tabel 3 pada metode KAS didapatkan nilai energi aktivasi rata-rata sebesar 137,34±30,05 kJ/mol sedangkan untuk metode friedman didapatkan energi aktivasi rata-rata sebesar 147,83±36,66 kJ/mol. Nilai standar deviasi untuk pirolisis serbuk kayu ulin dengan metode KAS sebesar 30,05 kJ/mol dan metode Friedman sebesar 36,66 kJ/mol. Sehingga dapat disimpulkan metode KAS lebih akurat dibandingkan dengan metode Friedman pada pirolisis serbuk kayu ulin. Hal tersebut juga dikarenakan metode KAS memiliki kelebihan yaitu fluktuasi energi aktivasi yang lebih rendah dibandingkan metode friedman [10].

KESIMPULAN

Berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan didapatkan Nilai energi aktivasi dari pirolisis serbuk kayu ulin menggunakan metode Kissinger-Akahira-Sunose (KAS) dan Friedman masing-masing sebesar 137,34±30,05 kJ/mol dan 147,83±36,66 kJ/mol.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi melalui hibah World Class Research (Contact number. 298/UN17.L1/HK/2022) dalam terlaksananya penelitian ini serta kepada ibu Dr. R.R Dirgarini J.N.S., M.Sc atas bimbingannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hairah, U., Andi, T., Edy, B., & Fahrul, A. (2017). Borneo Biodiversity: Exploring Endemic Tree Species and Wood Characteristics. *International Conference on Science in Information Technology (ICSITech)* (pp. 435-440). Bandung: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICSITech.2017.8257152>
- [2] Hasan, S., Aladin, A., Syarif, T., & Arman, M. (2020). Pengaruh Penambahan Gas Nitrogen terhadap Kualitas Charcoal yang Diproduksi secara Pirolisis dari Limbah Biomassa Serbuk Gergaji Kayu Ulin (*Euxideroxylon Zwageri*). *Journal of Chemical Process Engineering*, 5(1), 61-68. <https://doi.org/10.33536/jcpe.v5i1.472>
- [3] Ridhuan, K., Dwi, I., Yulita, Z., dan Fendi, F. (2019). Pengaruh Jenis Biomassa Pada Pembakaran Pirolisis Terhadap Karakteristik Dan Efisien Bioarang - Asap Cair Yang Dihasilkan. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 20 (1), 18-27.
- [4] Wijayanti, W. (2019). Identifikasi Efek Heating Rate terhadap Laju Kinetika Reaksi Pirolisis Kayu Mahoni dengan Thermal Analysis dan Termogravimetry. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 10(1), 65-76.
- [5] Ali, I., Naqvi, S. R., & Bahadar, A. (2018). Kinetic analysis of *Botryococcus braunii* pyrolysis using model-free and model fitting methods". *Fuel*, 214. 369-380.
- [6] Miten, P. D. (2019). Studi Kinetika Pirolisis Beberapa Biomassa dengan Metode Analisis Termogravimetri. *Tesis*. Universitas Mulawarman.
- [7] Mishra, G., & Bhaskar, T. (2014). Non isothermal model *Free* kinetics for pyrolysis of rice straw. *Bioresource technology*, 169, 614-621. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.07.045>
- [8] Ceylan, S., Topcu, Y., & Ceylan, Z. (2014). Thermal behaviour and kinetics of alga *Polysiphonia elongata* biomass during pyrolysis. *Bioresource Technology*, 171, 193-198.
- [9] Polat, S., Apaydin-Varol, E., & Pütün, A. E. (2016). Thermal decomposition behavior of tobacco stem Part I: TGA–FTIR–MS analysis. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 38(20), 3065-3072.
- [10] Dewi, W. U. (2017). Evaluation of thermal decomposition kinetics of AP/HTPB composite solid ropellant using Kissinger, Flynn-Wall-Ozawa and Coats-Redfern method. *Jurnal Teknologi Dirgantara*, 15(2), 115-132.