

STUDI KINETIKA PIROLISIS AMPAS TEBU DENGAN MENGGUNAKAN ANALISIS TERMOGRAVIMETRI

A KINETIC STUDY OF PYROLYSIS OF BAGASSE USING THERMOGRAVIMETRIC ANALYSIS

Octaviana Rachmawanti, R.R. Dirgarini Subagyono J.N.S*, Veliyana Londong Allo

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 pyrolysis of bagasse using thermogravimetric analysis using the model-free methods, including the Kissinger-Akahira-Sunose (KAS) method and the Friedman method, has been carried out. The purpose of this study was to determine the pyrolysis decomposition process of bagasse and to determine the activation energy value of pyrolysis of bagasse. In this study, pyrolysis was carried out at various heating rates of 10, 15, 20, and 25 °C/minute using a Thermogravimetric Analyzer (TGA). The active pyrolysis temperature range of bagasse was $\pm 104-431^{\circ}\text{C}$ with a mass reduction of 56-64% where the decomposition process of cellulose, hemicellulose, and lignin in the biomass sample occurred. The activation energy obtained based on the KAS was 136.39 ± 23.19 kJ/mol, whereas the activation energy obtained based on the Friedman method was 156.19 ± 35.28 kJ/mol.

Keywords: Bagasse, Pyrolysis, Thermogravimetry, Model-free, Activation Energy

ABSTRAK

Studi kinetika pirolisis ampas tebu dengan analisis termogravimetri menggunakan metode model *free* diantaranya : metode Kissinger-Akahira-Sunose (KAS) dan metode Friedman telah dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui proses dekomposisi pirolisis ampas tebu serta untuk mengetahui nilai energi aktivasi dari pirolisis ampas tebu. Pada penelitian ini pirolisis dilakukan dengan laju pemanasan yang bervariasi yaitu 10, 15, 20, dan 25 °C/menit dengan instrumen *Thermogravimetric Analyzer* (TGA). Rentang suhu pirolisis aktif ampas tebu adalah $\pm 104-431^{\circ}\text{C}$ dengan pengurangan massa sebesar 56-64 %, dimana terjadi proses dekomposisi selulosa, hemiselulosa dan lignin yang terkandung dalam ampas tebu. Nilai energi aktivasi yang diperoleh berdasarkan metode KAS adalah sebesar $136,39 \pm 23,19$ kJ/mol, sedangkan nilai energi aktivasi yang diperoleh berdasarkan metode Friedman adalah sebesar $156,19 \pm 35,28$ kJ/mol.

Kata kunci: Ampas Tebu, Pirolisis, Termogravimetri, Model *free*, Energi Aktivasi

PENDAHULUAN

Biomassa merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang dipercaya mampu mengurangi dampak dari emisi gas buang bahan bakar fosil yang dapat mengakibatkan pemanasan global. Konversi biomassa untuk menghasilkan bahan bakar dapat dilakukan melalui beberapa metode, diantaranya yaitu pembakaran langsung

dan biokimiawi [1]. Metode termokimia terbagi menjadi beberapa jenis yakni pirolisis, pembakaran serta gasifikasi. Pirolisis merupakan metode yang umumnya digunakan dan hasil yang diperoleh dapat digunakan untuk banyak aplikasi [2]. Pirolisis merupakan suatu proses dekomposisi bahan kimia organik melewati tahap pemanasan dengan tidak adanya bantuan oksigen [3] dimana pirolisis dapat digunakan untuk mengubah biomassa menjadi bio-oil. Salah satu biomassa yang dapat digunakan pada proses

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



pirolisis dan cukup melimpah ketersediaannya di Indonesia yaitu ampas tebu [4]. Ampas tebu banyak digunakan dalam pembuatan bio-oil karena kandungan selulosa yang dimiliki ampas tebu. Selain selulosa, ampas tebu juga mengandung lignin, hemiselulosa, gula, dan mineral [5]. Instrumen berbasis termogravimetri dapat menjelaskan mengenai dekomposisi termal, seperti pirolisis dari berbagai macam biomassa dengan sangat baik. Kinetika dekomposisi termal pada suatu material juga dapat ditentukan dengan menggunakan metode analisis termogravimetri [6]. Hasil yang diperoleh saat proses analisis termogravimetri kemudian diolah dengan beberapa metode untuk menentukan kinetika dekomposisi termal sampel. Metode yang sering digunakan untuk menentukan kinetika dekomposisi termal sampel biomassa adalah 2 metode model *free* yaitu Kissinger-Akahira-Sunose (KAS) dan Friedman [6]. Kedua metode tersebut dapat digunakan untuk menentukan nilai energi aktivasi suatu proses pirolisis. Penentuan nilai energi aktivasi akan memberikan salah satu petunjuk dari sisi termodinamika mengenai efisiensi pirolisis suatu sampel dalam skala yang lebih besar. Pada penelitian ini dilakukan studi kinetika pirolisis ampas tebu menggunakan TGA. Data yang diperoleh dari TGA selanjutnya dianalisis menggunakan 2 metode model *free* yaitu Kissinger-Akahira-Sunose (KAS) dan Friedman untuk menentukan nilai dari energi aktivasi.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini ialah neraca analitik, *vortex V-1 plus*, dan TAG 16 *Simultaneous Symmetrical Thermo Analyser*. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini ialah gas nitrogen dan udara yang didapatkan dari *Air Liquide* serta ampas tebu yang diperoleh dari pedagang kaki lima, yang berada di depan Jalan Kemakmuran, Kecamatan Samarinda Kota, Kabupaten Samarinda, Kalimantan Timur. Ampas tebu yang digunakan memiliki kadar air sebesar $12 \pm 0,004\%$, kadar abu sebesar $0,02 \pm 0,001\%$, kadar selulosa sebesar 58%, kadar hemiselulosa sebesar 10% dan kadar lignin sebesar $11 \pm 0,02\%$.

Prosedur Penelitian

Preparasi Sampel Ampas Tebu

Sampel ampas tebu dibersihkan lalu dipotong menjadi bagian-bagian kecil dan dikering anginkan dengan kisaran waktu ± 7 hari.

Setelah kering sampel dihaluskan dengan blender yang disaring menggunakan ayakan 100 mesh. Hasil ayakan tersebut berupa serbuk.

Analisis Termogravimetri

Studi kinetika pirolisis ampas tebu dan sabut kelapa dengan dan tanpa penambahan katalis Ni/SBA-15 menggunakan instrumen Setaram TAG 16 *Simultaneous Symmetrical Thermo Analyser* dengan metode yang telah dilakukan oleh Miten (2019). Sampel biomassa diambil sebanyak 10-20 mg dimasukkan ke dalam cangkir alumina. Setelah itu, sampel dialiri dengan laju alir 140 mL/menit selama 600 detik pada suhu kamar, lalu sampel dipanaskan hingga suhu 850°C dengan variasi laju pemanasan yaitu 10, 15, 20 dan 25 °C/menit. Suhu dipertahankan selama 1200 detik dalam aliran gas nitrogen, selanjutnya aliran gas nitrogen diubah menjadi aliran udara dengan laju alir 70 mL/menit dengan suhu yang sama selama 1200 detik. Setelah itu suhu diturunkan sampai 20°C dengan laju 20°C/menit dengan aliran udara 70 mL/menit. Kemudian suhu dipertahankan selama ± 1800 detik dengan atmosfer N₂ (70 mL/menit).

Teknik Analisis Data

Data-data yang didapatkan dalam penelitian ini yaitu berupa kurva atau termogram yang menampilkan perubahan temperatur dan massa sampel. Kurva TG dan dTG yang dihasilkan akan mempresentasikan proses dekomposisi sampel biomassa yang terjadi di setiap variasi laju pemanasan yang beragam.

Termogram dianalisis dengan 2 model kinetika kimia yaitu metode Kissinger-Akahira-Sunose (KAS) dan Friedman untuk mendapatkan nilai energi aktivasi pada sampel biomassa yang digunakan. Untuk menentukan nilai energi aktivasi digunakan nilai konversi (α) 0,1-0,9. Nilai konversi α merupakan jumlah bahan organik yang hilang dibagi dengan total bahan organik yang mudah menguap.

Berikut adalah persamaan dari metode yang digunakan untuk menentukan energi aktivasi :

Berdasarkan persamaan Kissinger-Akahira-Sunose (KAS) :

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

di mana nilai energi aktivasi (E_{α}) dapat diperoleh dari plot $\ln \frac{\beta}{T^2}$ melawan $\frac{1}{T}$ dengan slope $-\frac{E_{\alpha}}{R}$ [7].

Berdasarkan persamaan Friedman :

$$\ln \ln \left(\beta \frac{d\alpha}{dT} \right) = \ln \ln [Af(\alpha)] - \frac{E\alpha}{RT} \quad (2)$$

di mana nilai energi aktivasi ($E\alpha$) dapat diperoleh dari kemiringan garis lurus dengan memplot $\ln \ln \left(\beta \frac{d\alpha}{dT} \right)$ melawan $\frac{1}{T}$ [7].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pirolisis ampas tebu dilakukan dengan menggunakan metode termogravimetri dengan 4 variasi laju pemanasan yaitu 10, 15, 20 dan 25 °C/menit.

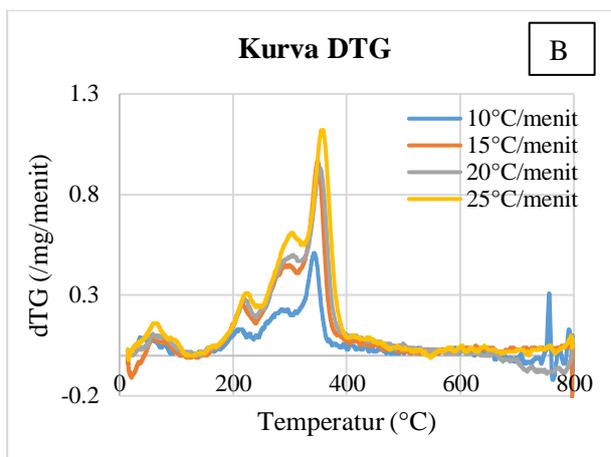
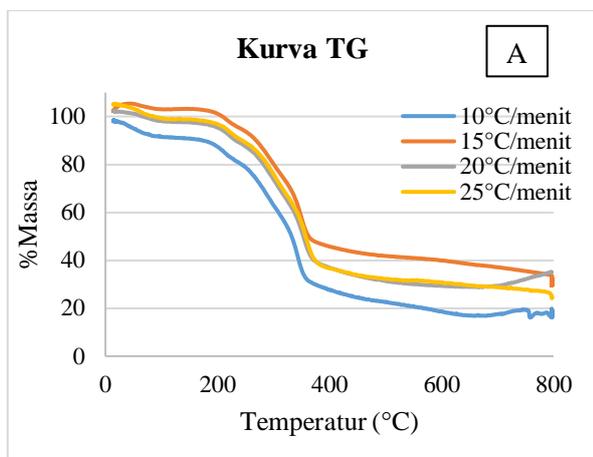
Tabel 1. Rentang Suhu Aktif Pirolisis Ampas Tebu di Setiap Variasi Laju Pemanasan

Laju Pemanasan	Ampas Tebu	
	T ₁	T ₂
10°C/menit	104°C	382,93°C
15°C/menit	105,76°C	391,6°C
20°C/menit	110,4°C	427,59°C
25°C/menit	112,89°C	431,2°C

Berdasarkan Tabel 1 di atas menunjukkan bahwa rentang suhu awal (T₁) dan suhu akhir (T₂) atau

disebut suhu aktif pirolisis mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya laju pemanasan. Menurut Bhattacharjee & Biswas [8] hal tersebut dikarenakan semakin tinggi laju pemanasan maka laju degradasi termal akan meningkat dan suhu puncak akan tergeser ke nilai yang lebih tinggi, yang disebabkan karena perbedaan efisiensi perpindahan panas pada proses pirolisis. Penentuan rentang suhu pirolisis aktif yaitu dengan menganalisis kurva TG dan DTG pada Gambar 1.

Pada kurva DTG (Gambar 1B) puncak pertama berlangsung kisaran suhu 20°C sampai 120°C yang menunjukkan proses hilangnya kadar air atau *moisture*. Puncak kedua berlangsung kisaran 200°C sampai 850°C yang menunjukkan proses dekomposisi senyawa selulosa, hemiselulosa dan lignin. Menurut Maulina [9], proses dekomposisi hemiselulosa dan selulosa berlangsung pada suhu 220°C sampai 315°C dan 315°C sampai 400°C, sedangkan proses dekomposisi lignin berlangsung cukup lama karena adanya kestabilan termal saat proses pirolisis yaitu kisaran 160°C sampai 900°C.



Gambar 1. (A) Kurva TG, (B) Kurva DTG Pirolisis Ampas Tebu di berbagai Laju pemanasan

Tabel 2. Tahapan Proses Pirolisis Ampas Tebu

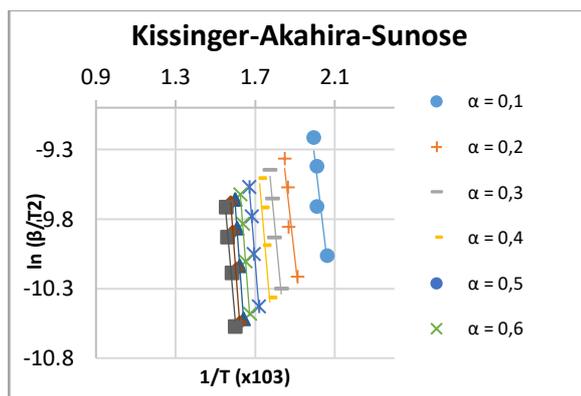
Tahap	Suhu	Pengurangan Massa (%)
Pertama	$\leq 104^{\circ}\text{C}$	1-9 %
Kedua	$\pm 104\text{-}431^{\circ}\text{C}$	56-64 %
Ketiga	$\geq 431^{\circ}\text{C}$	8-15 %

Kurva DTG (Gambar 1B) terbagi menjadi 3 tahap utama seperti Tabel 2, yaitu tahap pertama adalah tahap penguapan kadar air atau *moisture* di dalam sampel dimana pada puncak pertama dengan suhu $\leq 104^{\circ}\text{C}$ dan pengurangan massa

sekitar 1-9 %. Tahap kedua adalah tahap pirolisis aktif dimana terjadi proses dekomposisi senyawa-senyawa aromatik yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin yang terkandung dalam ampas tebu pada kisaran suhu $\pm 104\text{-}431^{\circ}\text{C}$ dengan pengurangan massa sebesar 56-64 %. Dan tahap ketiga adalah tahap pirolisis pasif dimana terjadi dekomposisi senyawa akibat proses gasifikasi atau pembakaran dan juga terjadi pembentukan senyawa karbon *non volatile* yang menguap sehingga membentuk karbon monoksida dan karbon dioksida yang disebabkan oleh suhu yang terlalu tinggi. Tahap ini terjadi pada suhu $\geq 431^{\circ}\text{C}$ dengan pengurangan massa 8-15 %.

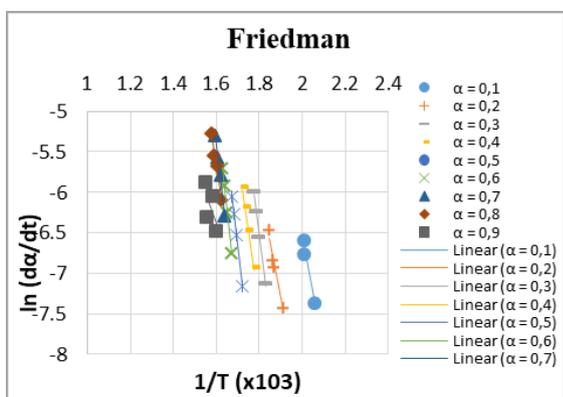
Analisa Kinetika Biomassa Menggunakan Metode Model *Free*

Pada penelitian ini digunakan sembilan nilai konversi yakni dari 0,1 sampai 0,9. Pada kisaran nilai konversi tersebut diperoleh suhu penguraian senyawa yang berbeda-beda pada variasi laju pemanasan yang berbeda pula. Suhu penguraian akan meningkat seiring dengan laju pemanasan yang semakin besar. Selanjutnya penentuan energi aktivasi dari pirolisis ampas tebu dilakukan dengan menggunakan metode Kissinger-Akahira-Sunose (KAS) dan Friedman.



Gambar 2. Kurva Plot Arrhenius Metode KAS

Pada Gambar 2 kurva regresi linear metode KAS diperoleh dengan memplotkan $1/T$ sebagai sumbu X dan $\ln(\beta/T^2)$ sebagai sumbu Y. Nilai energi aktivasi yang diperoleh pada metode KAS berubah-ubah di setiap nilai konversi (α). Pada nilai konversi $0,1 \leq \alpha \leq 0,7$ diperoleh energi aktivasi yang meningkat secara bertahap dan stabil yang disebabkan terjadi proses dekomposisi senyawa selulosa dan hemiselulosa, akan tetapi pada nilai konversi $0,8 \leq \alpha \leq 0,9$ energi aktivasi menurun akibat terdegradasinya senyawa lignin sehingga E_a lebih rendah.

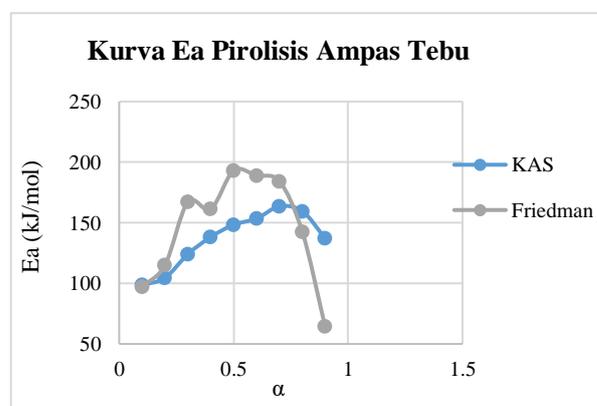


Gambar 3. Kurva Plot Arrhenius Metode Friedman

Pada Gambar 3 kurva regresi linear metode Friedman diperoleh dari memplotkan $1/T$ sebagai sumbu X dan $\ln(d\alpha/dt)$ sebagai sumbu Y. Nilai energi aktivasi yang diperoleh pada metode Friedman pun berubah-ubah di setiap nilai konversi (α). Nilai konversi $0,1 \leq \alpha \leq 0,3$ energi aktivasi meningkat, namun pada $\alpha = 0,4$ energi aktivasi mengalami penurunan, kemudian meningkat tajam pada $\alpha = 0,5$ lalu pada nilai konversi $0,6 \leq \alpha \leq 0,9$ energi aktivasi menurun kembali.

Tabel 3. Nilai Energi Aktivasi Pirolisis Ampas Tebu

Metode	E_a
KAS	136,388 kJ/mol
Friedman	156,189 kJ/mol



Gambar 4. Kurva Perbandingan Energi Aktivasi Pirolisis Ampas Tebu

Gambar 4 adalah kurva perbandingan energi aktivasi pirolisis ampas tebu di setiap variasi konversi dengan metode KAS dan Friedman. Pada penelitian ini nilai energi aktivasi yang diperoleh berbeda-beda di tiap konversi (α) yang diakibatkan oleh adanya proses dekomposisi termal yang meningkat secara bertahap maka terjadi perubahan mekanisme reaksi dan juga suhu yang mengalami peningkatan [10] sehingga energi aktivasi (E_a) pun juga akan berubah-ubah seiring dengan berlangsungnya reaksi. Energi aktivasi yang diperoleh antara metode KAS dan Friedman berbeda, dari kurva tersebut diperoleh nilai E_a dan STD metode Friedman ($156,189 \pm 35,28$ kJ/mol) lebih besar dibandingkan dengan metode KAS yaitu $136,388 \pm 23,19$ kJ/mol. Metode KAS ialah bentuk integral sedangkan metode Friedman memiliki bentuk diferensial, perbedaan bentuk diferensial dari hukum laju kinetik akan menghasilkan energi aktivasi dan standar deviasi yang sedikit lebih tinggi [10].

Sehingga dapat disimpulkan bahwa penentuan nilai energi aktivasi pada penelitian ini metode KAS adalah metode yang lebih akurat daripada Friedman, karena nilai standar deviasi (STD) diperoleh lebih kecil.

KESIMPULAN

Berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan diperoleh nilai energi aktivasi (E_a) dari pirolisis ampas tebu dengan menggunakan metode Kissinger-Akahira-Sunose (KAS) sebesar $136,388 \pm 23,19$ kJ/mol dan metode Friedman sebesar $156,189 \pm 35,28$ 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.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Parinduri, L. and Parinduri, T. (2020) Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Journal of Electrical Technology*, **5**, 88–92.
- [2] Hussain, A., Ani, F.N., Darus, A.N. and Ahmed, Z. (2012) Thermogravimetric And Thermochemical Studies Of Malaysian Oil Palm Shell Waste. *Jurnal Teknologi*, **45**, 43–53.
- [3] Ridhuan, K., Irawan, D. and Inthifawzi, R. (2019) Proses Pembakaran Pirolisis dengan Jenis Biomassa dan Karakteristik Asap Cair yang Dihasilkan. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, **8**, 69–78.
- [4] Rismayani, S. and T, A.S. (2011) Pembuatan Bio-Briket. *Arena Tekstil*, **26**, 47–54.
- [5] Rahmawati, L.A. (2020) Studi Literatur Produksi Bioethanol dari Ampas Tebu dengan Metode Pyrolisis. *Jurnal Enviroscience*, **4**, 46.
- [6] Dewi, W.U. (2017) Evaluasi Kinetika Dekomposisi Termal Propelan Komposit Ap/Htpb Dengan Metode Kissinger, Flynn Wall Ozawa Dan Coats - Redfren (Evaluation of Thermal Decomposition Kinetics of Ap/Htpb Composite Solid Propellant Using Kissinger, Flynn Wall Ozawa and Coats -). *Jurnal Teknologi Dirgantara*, **15**, 115–32.
- [7] Yao, Z., Yu, S., Su, W., Wu, W., Tang, J. and Qi, W. (2020) Kinetic studies on the pyrolysis of plastic waste using a combination of model-fitting and model-free methods. *Waste Management and Research*, **38**, 77–85.
- [8] Bhattacharjee, N. and Biswas, A.B. (2020) Physicochemical analysis and kinetic study of orange bagasse at higher heating rates. *Fuel*, Elsevier. **271**, 117642.
- [9] Seri Maulina, Nurtahara and Fakhradila. (2018) Pirolisis Pelepah Kelapa Sawit Untuk Menghasilkan Fenol Pada Asap Cair. *Jurnal Teknik Kimia USU*, **7**, 12–6.
- [10] Liu, L., Pang, Y., Lv, D., Wang, K. and Wang, Y. (2021) Thermal and kinetic analyzing of pyrolysis and combustion of self-heating biomass particles. *Process Safety and Environmental Protection*, Institution of Chemical Engineers. **151**, 39–50.