

**STUDI KINETIKA PIROLISIS SERBUK KAYU MERANTI (*SHOREA SPP*)
MENGUNAKAN ANALISIS TERMOGRAVIMETRI**

**A KINETIC STUDY OF MERANTI SAWDUST (*SHOREA SPP*) PYROLYSIS USING
THERMOGRAVIMETRIC ANALYSIS**

Fitria, RR Dirgarini Julia Nurlianti Subagyono*, 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 pyrolysis of meranti wood using the Kissinger-Akahira-Sunose (KAS), Ozawa-Flynn-Wall (OFW), and Friedman methods using thermogravimetric analysis has been carried out. This study aims to study the synergistic effect of meranti wood and determine the activation energy value. Pyrolysis was carried out at four heating rates, namely 10, 15, 20, and 25°C/minute under N₂ gas. The temperature range in the active pyrolysis of meranti wood is 128,42-521°C. The average activation energy values of pyrolysis of meranti wood using the KAS, OFW, and Friedman methods were 170,84 ± 30,07 kJ/mol, 180,36 ± 29,42 kJ/mol, respectively 174, ± 54,77 kJ/mol.

Keywords: meranti wood, kinetics studies, pyrolysis, thermogravimetric analysis

ABSTRAK

Studi kinetika pirolisis kayu meranti menggunakan analisis termogravimetri dengan metode Kissinger-Akahira-Sunose (KAS), Ozawa-Flynn-Wall (OFW) dan Friedman telah dilakukan. Pirolisis dilakukan dengan empat laju pemanasan yaitu 10, 15, 20 dan 25°C/menit dibawah aliran gas N₂. Rentang suhu pada pirolisis aktif serbuk kayu meranti adalah 128,42-521,17°C. Nilai energi aktivasi rata-rata pirolisis kayu meranti menggunakan metode KAS, OFW dan Friedman berturut-turut yaitu 170,94 ± 30,07 kJ/mol, 180,36 ± 29,41 kJ/mol dan 174,24 ± 54,77 kJ/mol.

Kata kunci: kayu meranti, studi kinetika, pirolisis, analisis termogravimetri

PENDAHULUAN

Bahan bakar secara general dari teknologi konversi biomassa bisa diklasifikasikan menjadi 3 metode, yaitu pembakaran langsung, seperti konversi termokimia dan biokimia. Konversi termokimia adalah teknologi yang membutuhkan perlakuan khusus termal untuk memicu terjadinya suatu reaksi kimia untuk mendapatkan bahan bakar. Sedangkan konversi biokimia adalah teknologi konversi yang memakai bantuan mikroba untuk mendapatkan bahan bakar [1].

Pirolisis biomassa adalah salah satu teknologi alternatif yang dikembangkan agar senyawa kimia yang dihasilkan dari proses ini

dapat diolah menjadi sumber energi [2]. Pirolisis juga dikenal sebagai metode yang mudah serta ekonomis untuk memperoleh energi dari biomassa [3].

Studi kinetika pirolisis dapat dilakukan dengan analisis termogravimetri. Teknik ini sering dipilih karena mudah dilakukan dan sampel yang digunakan sedikit dan dalam kisaran milligram [2]. Termogravimetri adalah suatu metode yang dipakai dalam mengukur perubahan massa dari suatu komponen sebagai nilai fungsi pada suhu maupun waktu sehingga dapat menghasilkan rekaman diagram yang berkelanjutan [4].

Hasil dari analisis termogravimetri kemudian diolah menggunakan metode model-

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



free yaitu metode Friedman, Kissinger-Akahira-Sunose (KAS), Ozawa-Flynn-Wall untuk mengetahui nilai energi aktivasi dari suatu proses pirolisis. Metode Friedman merupakan metode yang paling sering digunakan dalam menentukan energi aktivasi [5]. Adapun kelebihan dari metode Friedman yaitu tidak membutuhkan banyak perhitungan dan hasil yang didapatkan, juga lebih akurat jika dibandingkan dengan metode lain [6]. Metode Kissinger-Akahira-Sunose (KAS) adalah salah satu cara pemodelan iso-konvensional lainnya yang telah banyak dipakai pada literatur dalam memodelkan proses pirolisis. Energi aktivasi bisa ditentukan oleh metode Kissinger-Akahira-Sunose tanpa harus mengetahui dengan pasti mekanisme reaksi [7]. Metode OFW adalah metode iso-konvensional yang sudah banyak digunakan literatur dan juga memberikan nilai dari energi aktivasi serta faktorpre-eksponensial yang berbeda-beda di setiap konversi [7].

Proses pirolisis dapat menggunakan serbuk kayu meranti yang merupakan limbah hasil pengolahan kayu [8]. Selulosa, hemiselulosa dan lignin merupakan bagian dari penyusun primer biomassa kayu meranti [9]. Pada penelitian ini dilakukan studi kinetika pirolisis serbuk kayu meranti (*Shorea Spp*) dengan variasi laju pemanasan menggunakan analisis termogravimetri. Penelitian ini juga difokuskan pada penentuan nilai energi aktivasi biomassa dan kayu meranti serta mengetahui proses dekomposisi termal pirolisis serbuk kayu meranti.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat

Alat yang digunakan didalam penelitian ini yaitu setaram TGA 16 *Simultaneous Symmetrical Thermo Analyzer*, *Vortex V-1 Plus*, neraca analitik serta alat-alat gelas.

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan di dalam penelitian ini yaitu gas nitrogen dan udara dari *Air Liquide*. Sampel serbuk kayu meranti diperoleh dari pabrik kayu di PBPHH H. M Burhanuddin/Ramadani (Primary Forest Products Industry). Serbuk kayu meranti yang digunakan memiliki kadar air $12\pm 0,001\%$, kadar abu $0,76\%$, kadar selulosa 66 , hemiselulos 2 , dan lignin $35\pm 0,047\%$.

Prosedur Penelitian

Preparasi Serbuk Kayu Meranti (*Shorea*)

Sampel kayu meranti (*Shorea*) dibersihkan terlebih dahulu setelah itu dikeringkan pada suhu ruangan, selanjutnya diayak menggunakan 100 mesh.

Analisis Menggunakan TGA

Studi kinetika pirolisis biomassa dilakukan dengan TGA dengan aliran nitrogen menggunakan setaram TGA 16 *Simultaneous Symmetrical Thermo Analyzer* menggunakan metode yang dilakukan oleh Miten [10]. Sampel campuran serbuk kayu meranti sebanyak 10-20 mg dimasukkan ke dalam cangkir alumina. Lalu sampel dialiri dengan nitrogen (laju alir 140 mL/menit) selama 600 detik pada suhu kamar. Selanjutnya sampel dipanaskan sampai $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan laju pemanasan 10, 15, 20, dan $25^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ (laju alir N_2 140 mL/menit). Kemudian suhu dipertahankan selama 1200 detik dalam aliran gas nitrogen, lalu aliran gas nitrogen diubah sebagai aliran udara dengan laju alir 70 mL/menit dengan suhu yang sama selama 1200 detik. Setelah itu suhu diturunkan sampai 20°C dari $20^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ di dalam aliran udara (70 mL/menit). Lalu suhu dipertahankan selama 1800 detik di dalam aliran N_2 (70 mL/menit).

HASIL DAN PEMBAHASAN

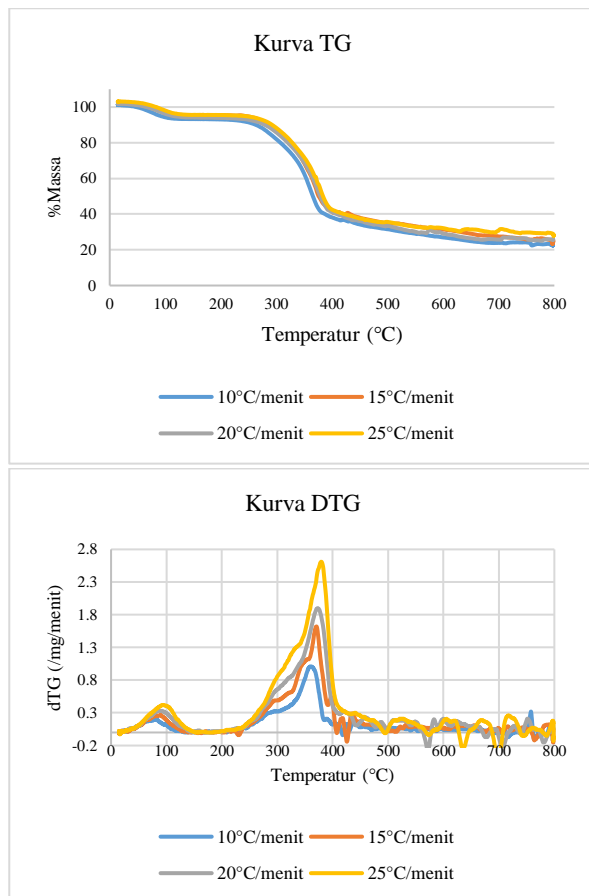
Pirolisis Kayu Meranti Menggunakan Metode Termogravimetri

Pada penelitian ini digunakan sampel serbuk kayu meranti (*Shorea Spp*) yang berukuran 100 mesh dan pirolisis serbuk kayu meranti menggunakan metode termogravimetri dengan 3 variasi laju pemanasan yaitu 10, 15, 20 dan $25^{\circ}\text{C}/\text{menit}$. Variasi dari laju pemanasan yang digunakan berdasarkan dengan penelitian sebelumnya di mana peningkatan laju pemanasan dapat mempengaruhi suhu aktif dari pirolisis [11-13].

Rentang suhu aktif pirolisis serbuk kayu meranti di setiap laju pemanasan ditampilkan pada Tabel 1. Suhu aktif pirolisis merupakan rentang suhu awal (T_{awal}) serta suhu akhir (T_{akhir}) pada proses pirolisis, suhu tersebut ditentukan dengan melihat data DTG. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa kenaikan laju pemanasan saat proses pirolisis meningkatkan suhu aktif pirolisis, hal ini dimungkinkan terjadi karena perbedaan suhu antar permukaan dan inti partikel meningkat dengan cepat yang menghasilkan gradien yang mendukung perpisahan panas [12].

Tabel 1. Rentang Suhu Aktif Pirolisis Kayu Meranti di Setiap Laju Pemanasan

Laju Pemanasan	T _{awal}	T _{akhir}
10°C/menit	128,42°C	457,07°C
15°C/menit	130,63°C	464,68°C
20°C/menit	145,52°C	484,61°C
25°C/menit	154,53°C	521,17°C



Gambar 1. Kurva TG dan DTG Pirolisis Kayu Meranti dengan Variasi Laju Pemanasan

Kurva TG dan DTG dari pirolisis kayu meranti didalam keadaan atmosfer nitrogen pada rentang laju pemanasan 10, 15, 20 dan 25°C/menit dtunjukkan pada Gambar 1. Area penurunan massa pada kurva tersebut bisa menjelaskan tahap-tahap yang terjadi pada proses degradasi komponen-komponen yang ada didalam kayu meranti

Selama degradasi termal Kayu Meranti, terdapat 3 tahapan utama. Tahapan pertama terjadi proses penguapan kandungan air atau *moisture* serta senyawa volatil ringan yang terkandung di dalam kayu meranti, proses ini dapat disebut sebagai tahap pengeringan. Tahap

ini terjadi di suhu kurang dari 128°C. Berdasarkan penelitian Chen *et al.* [13], proses penguapan serupa terjadi di suhu 25°C hingga mencapai 168-178°C.

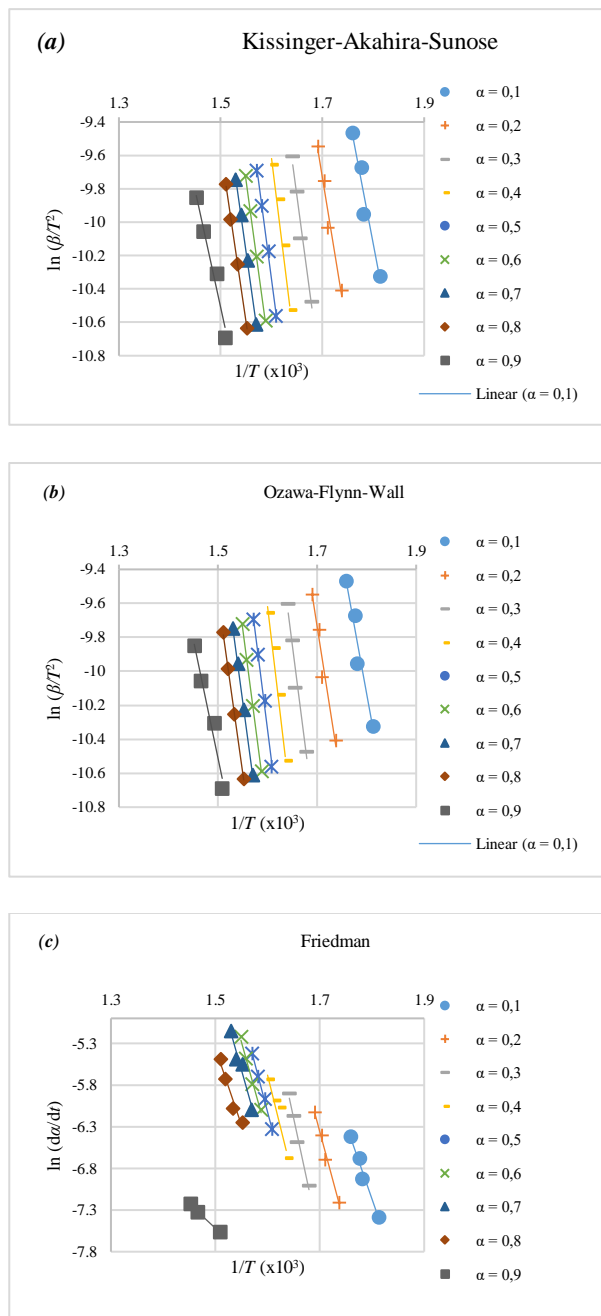
Pada tahap kedua yaitu pirolisis aktif, terjadi pengurangan massa terbanyak yaitu 61% dikarenakan proses dekomposisi senyawa hemiselulosa, selulosa dan juga lignin dari kayu meranti. Komponen-komponen ini mengalami proses dipolimerisasi. Dekarboksilasi dan *cracking* [4]. Tahap ini terjadi pada suhu 128-521°C, dimana senyawa hemiselulosa terdekomposisi pada suhu 278-351°C, senyawa selulosa terdekomposisi pada suhu 310-400°C, serta lignin terdekomposisi pada suhu 200-275°C. Pada tahap ini terjadi pelepasan senyawa volatil, CO₂ serta CO [12-17].

Pada tahap ketiga yaitu pirolisis pasif dimana terjadi dekomposisi endotermik lignin dan bahan berkarbon, di mana residu karbon terurai secara perlahan [13];[18]. Tahap ini terjadi pada suhu diatas 521°C yang menyebabkan pengurangan massa sebanyak 7-14%. Pada tahap ini juga terjadi dekomposisi lignin yang terkandung dalam kayu meranti, seperti pada tahap kedua pirolisis, karena dekomposisi lignin terjadi pada rentang suhu yang luas 240-900°C [13]. Lignin terdekomposisi secara termal pada rentang suhu yang sangat luas, karena gugus fungsi yang terdapat dari strukturnya memiliki stabilitas termal yang berbeda-beda pada suhu yang berbeda. Pada suhu lebih dari 400°C pirolisis lignin menghasilkan senyawa hidrokarbon aromatik yang sebagian besar terdapat gugus fenolik -OH [14].

Analisis Kinetika Pirolisis Kayu Meranti

Kurva plot Arrhenius di variasi konversi sampel kayu meranti menggunakan metode KAS, OFW dan Friedman bisa dilihat pada Gambar 2. Pada Gambar 2, nilai konversi (α) diplotkan dari nilai 0,1 sampai 0,9 dengan ukuran perubahan 0,1 yang membentuk kurva regresi linier menggunakan metode KAS, OFW, dan Friedman. Pada pola kurva regresi linier KAS dan OFW lebih teratur jika dibandingkan dengan pola Friedman. Hal ini karena disesuaikan dengan koefisien korelasi pada setiap nilai konversi dari kayu meranti menggunakan metode KAS, OFW, dan Friedman yang menunjukkan bahwa nilai rata-rata $R^2 > 0,9$ di mana nilai dari R^2 yang lebih dari 0,9 dapat meningkatkan akurasi didalam penentuan energi aktivasi dikarenakan menunjukkan kelinearitasan data yang

didapatkan. Energi aktivasi ditentukan dengan setiap nilai konversi yang didasarkan *slope* dari kurva Arrhenius.



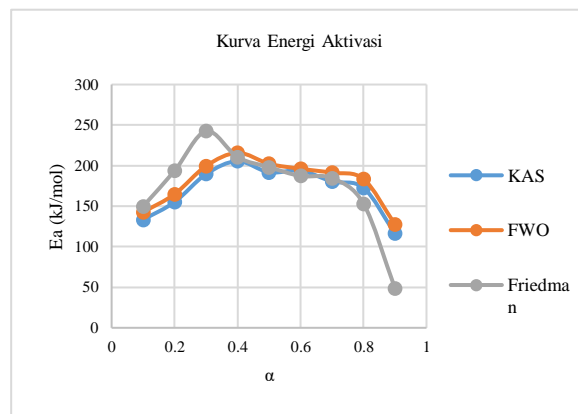
Gambar 2. Kurva plot Arrhenius di Variasi Konversi Pirolisis Serbuk Kayu Meranti Menggunakan Metode KAS (a), OFW (b), dan Friedman (c)

Nilai dari energi aktivasi pirolisis yang dihitung dengan metode KAS dan OFW memiliki pola sebagai berikut, pada $0,1 \leq \alpha \leq 0,4$ nilai energi aktivasi meningkat bertahap yang mengindikasikan bahwa pada rentang tersebut terjadi dekomposisi hemiselulosa di rentang suhu 278-351°C. Kemudian nilai energi aktivasi yang

cenderung stagnan di $0,4 \leq \alpha \leq 0,6$, di mana di rentang suhu tersebut terjadi dekomposisi selulosa di rentang suhu 338-372°C dan nilai energi

Aktivasi terus meningkat bertahap di $0,6 \leq \alpha \leq 0,9$ yang mengindikasikan dekomposisi lignin di rentang suhu 356-415°C. Selanjutnya jada metode Friedman nilai energi aktivasi yang didapatkan tidak menunjukkan pola yang teratur, di mana $0,1 \leq \alpha \leq 0,3$ terjadi peningkatan nilai energi aktivasi, selanjutnya menurun di $0,4 \leq \alpha \leq 0,9$ pada rentang dekomposisi lignin di suhu 338-415°C. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai energi aktivasi rata-rata berdasarkan metode KAS sebesar 170,94 kJ/mol, metode OFW sebesar 180,37 kJ/mol, dan metode Friedman 174,25 kJ/mol.

Gambar 3 menyajikan kurva perbandingan energi aktivasi kayu meranti metode KAS, OFW dan Friedman. Gambar tersebut menunjukkan bahwa kurva untuk metode KAS dan OFW memiliki pola yang serupa dibandingkan metode Friedman. Kurva energi aktivasi dengan metode Friedman memiliki pola yang berbeda dikarenakan rentan terhadap *noise* data diakibatkan sulitnya menentukan da/dt secara akurat.



Gambar 3. Kurva perbandingan energi aktivasi kayu meranti metode KAS, OFW dan Friedman.

KESIMPULAN

Pirolisis kayu meranti dengan analisis termogravimetri memberikan kurva TG dan DTG yang menampilkan rentang suhu aktif pirolisis pada laju pemanasan antara 128-521°C dengan 3 tahapan pirolisis. Pada tahapan pertama terjadi penguapan air atau *moisture* (<128°C), pada tahap kedua terjadi pirolisis aktif (128-521), dan pada tahap ketiga terjadi dekomposisi lignin (240-900°C). Nilai energi aktivasi pirolisis

serbuk kayu meranti adalah berdasarkan metode KAS sebesar 170,94 kJ/mol, metode OFW sebesar 180,37 kJ/mol, dan pada metode Friedman sebesar 174,25 kJ/mol.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada *School of Chemistry, Monash University, Australia* yang telah berkontribusi di dalam penelitian ini serta Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi yang telah mendanai penelitian ini melalui Hibah World Class Research dengan nomor kontrak 030/E5/PG/02.00PT/2022.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arhamsyah, A. (2010). Pemanfaatan biomassa kayu sebagai sumber energi terbarukan. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, 2(1), 42-48
- [2] Hadi S. (2017). Teknologi pirolisis sebagai salah satu alternatif bahan bakar terbarukan. *Mekanika*, 6(1).
- [3] Aminah S., & Susilowati, R. (2010). Produksi biodiesel dari mikroalga *Botryococcus braunii*. *Squalen*, 5(1), 23-30.
- [4] Subagyo, D. J. N., Sa'diyah, H., & Allo, V. L. (2021). Studi Kinetika Reaksi Pirolisis Makroalga Hijau (*Eucheuma Cottonii*) Dengan Analisis Termogravimetri Menggunakan Metode Friedman. *Molluca Journal of Chemistry Education (MJoCE)*, 11(2), 61-73.
- [5] Cui, Wang Hui, dkk. (2015). Using The Friedman Method To Study The Thermal Degradation Kinetics Of Photonicallly Cured Electrically Conductive Adhesives. *J Therm Anal Calorim* (2015) 119:425–433.
- [6] Al-Ayyed O.S.(2014). Study of Kinetics and Mechanisms Thermal Decomposition of Ellajun Oil Shale.
- [7] Dewi, Wiwiek Utami. (2017). Evaluasi Kinetika Dekomposisi Termal Propelan Komposit Ap/Htpb Dengan Metode Kissinger, Flynn Wall Ozawa Dan Coats-Redfren. *Jurnal Teknologi Dirgantara* Vol. 15(2).
- [8] Patabang D. (2013). Karakteristik Termal Briket Arang Serbuk Gergaji Kayu Meranti. *Jurnal Mekanikal*, 4(2), 410-415.
- [9] Rizal, W. A., Suryani, R., Wahono, S. K., Anwar, M., Prasetyo, D. J., Amdani, R. Z., dan Februanata, N. (2020). Pirolisis Limbah Biomassa Serbuk Gergaji Kayu Campuran: Parameter Proses dan Analisis Produk Asap Cair. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 14(2), 353-364.
- [10] Miten, P. D. (2019). Studi Kinetika Pirolisis Biomassa dengan Metode Analisis Termogravimetri. Tesis. Universitas Mulawarman.
- [11] Ali, I., Naqvi, S. R., dan Bahadar, A. (2018). Kinetic Analysis of *Botryococcus braunii* Pyrolysis Using Model-Free and Model Fitting Methods. *Fuel*, 214 (October 2017), 369-380.
- [12] Arbeláez, A. A., Giraldo, N. D., Pérez, J. F., dan Atehortúa, L. (2019). Pyrolysis Kinetics Using TGA and Simulation of Gasification of the Microalga *Botryococcus braunii*. *Bioenergy Research*, 12(4), 1077-1089.
- [13] Chen, C., Ma, X., dan He, Y. (2012). Co-Pyrolysis Characteristics of Microalgae *Chlorella Vulgaris* and Coal Trough TGA.
- [14] Brebu, M., dan Vasile, C. (2010). Thermal Degradation of Lignin – A Review. *Cellulose Chemistry and Technology*, 44(9), 353-363.
- [15] Gouws, S. M., Carrier, M., Bunt, J. R., dan Neomagus, H. W. J. P. (2021). Co-Pyrolysis of Coal and Raw/Torrefied Biomass: A Review On Chemistry, Kinetics and Implementation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135(August 2020).
- [16] Nyoni, B., Duma, S., Bolo, L., Shabangu, S., dan Hlangothi, S. P. (2020). Co-Pyrolysis of South African Bituminous Coal and *Scenedesmus* Microalgae: Kinetics and Synergistic Effects Study. *International Journal of Coal Science and Technology*. 7(4), 807-815.
- [17] Wu, Z., Yang, W., Tian, X., dan Yang, B. (2017). Synergistic Effects from Co-Pyrolysis of Low-Rank Coal and Model Components of Microalgae Biomass. *Energy Conversion and Management*, 135, 212-225.
- [18] Mishra, R. K., dan Mohanty, K. (2018). Pyrolysis Kinetics and Thermal Behavior of Waste Sawdust Biomass Using Thermogravimetric Analysis. *Bioresourc Technology*, 215, 63-74.