

ANALISIS TERMOGRAVIMETRI MIKROALGA *SPIRULINA PLATENSIS* DENGAN LAJU PEMANASAN 10°C/MENIT

THERMOGRAVIMETRIC ANALYSIS OF MICROALGAE SPIRULINA PLATENSIS WITH A HEATING RATE OF 10°C/MIN

Chintya Zalza Laola Claudia B. P, RR Dirgarini Julia Nurlianti Subagyo*, Mohd Asyraf Kassim
Laboratorium Kimia Fisik, Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

*E-mail: dirgarini@fmipa.unmul.ac.id

Diterbitkan: 31 Oktober 2024

ABSTRACT

The pyrolysis of *Spirulina platensis* microalgae using thermogravimetric analysis at a heating rate of 10°C/min has been conducted. This study aims to examine the characteristics of *Spirulina platensis* microalgae through its thermal decomposition behavior and the active and passive pyrolysis temperature ranges in the microalgae powder. Based on the analysis results, *Spirulina platensis* microalgae contains 8.34% moisture and 7.18% ash content. The decomposition pattern of *Spirulina platensis* microalgae is divided into three stages: the water evaporation stage occurs at temperatures $\leq 150^{\circ}\text{C}$, the active/main pyrolysis stage occurs in the temperature range of 150-502°C, and the passive pyrolysis stage occurs at temperatures $\geq 502^{\circ}\text{C}$.

Keywords: *Spirulina platensis*, Pyrolysis, and Thermogravimetric Analysis.

PENDAHULUAN

Pada saat ini, keterbatasan energi sebagai sumber bahan bakar sangat bergantung pada energi fosil yang tidak dapat diperbaharui sehingga untuk memastikan keberlanjutan lingkungan dikembangkan sumber energi alternatif yang melimpah dan ramah lingkungan, yakni biomassa. Biomassa dapat dijadikan sebagai sumber karbon yang dapat menghasilkan bahan bakar [1]. Karena biomassa tidak memberi efek samping yang berbahaya bagi atmosfer, relatif rendah mengandung sulfur dan dapat diperbaharui [2]. Biomassa seperti mikroalga *Spirulina platensis* dapat dijadikan sebagai sumber bahan bakar karena produktivitasnya yang tinggi dan dapat menghasilkan lipid [3]. Dengan nilai kalor yang cukup besar yakni sebesar 10-35 MJ/kg biomassa dapat dikonversikan menjadi energi dengan metode termokimia [4].

Konversi termokimia ini tidak memerlukan waktu yang lama tetapi memerlukan energi yang tinggi dengan produk yang dihasilkan berupa *bio-oil*, *bio-char*, dan *syngas*. Salah satu metode yang sering digunakan pada konversi termokimia ialah pirolisis [5]. Pada pirolisis terjadi proses degradasi termal biomassa menggunakan pemanasan yang tinggi dalam lingkungan yang inert (kondisi tanpa oksigen) dengan tekanan atmosfer dan menghasilkan sumber energi hidrokarbon. Produk yang dihasilkan dipengaruhi oleh beberapa parameter, seperti komposisi biomassa, laju pemanasan, suhu pirolisis, waktu pirolisis, ukuran biomassa dan katalis [6].

Pada proses degradasi biomassa selama pirolisis, terjadi perubahan komposisi kimia dan sifat fisik. Salah satu metode yang dapat mengetahui proses degradasi biomassa ialah *thermogravimetric analysis* (TGA). TGA dapat mendeskripsikan laju reaksi dan perubahan massa dengan fungsi suhu [7]. Pada perubahan massa akan memberikan informasi mengenai stabilitas termal, reaktivitas, mekanisme reaksi, kinetika dekomposisi, penentuan kandungan, dan analisis komposisi. Hasil yang diperoleh umumnya berupa kurva TG. Kurva ini menginterpretasikan persentase penurunan berat sampel (*wt%*) terhadap kenaikan suhu (*T*). Ketika suhu meningkat, beratnya berkurang karena hilangnya massa, akibat dekomposisi termal pada biomassa. Umumnya, sebagian besar dekomposisi terjadi pada suhu rendah. Pada tahap tersebut, karakteristik pirolisis dan perilaku termal bahan baku yang digunakan [8].

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



Pada penelitian ini dilakukan analisis termogravimetri *Spirulina platensis* dengan laju pemanasan 10°C dalam mempelajari perilaku dekomposisi termal dan rentang suhu pirolisis aktif dan pasif pada serbuk mikroalga *Spirulina platensis*. Selain itu, memahami karakteristik mikroalga *Spirulina platensis* melalui analisis proksimat, yakni kadar air dan kadar abu.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan Bahan Penelitian

Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini, yakni timbangan, spatula, seperangkat alat gelas, TGA/DSC 1 STAR^e system, Metler Toledo dengan *software* stare evaluation, *crucible* (aluminium oksida $70\ \mu\text{L}$), botol sampel, botol semprot, dan Vortex V-1 plus.

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini, yakni aluminium foil, mikroalga hijau serbuk *Spirulina platensis*, dan iso-propil alkohol.

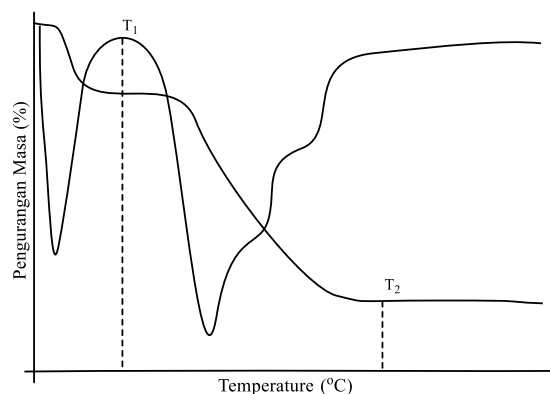
Prosedur Penelitian

Karakterisasi Sampel Biomassa

Serbuk mikroalga *Spirulina platensis* dilakukan karakterisasi dengan analisis proksimat, yakni analisis kadar air dan kadar abu. Analisis kadar abu dan kadar air dilakukan dengan metode IKM TN (Juknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk) yang dilakukan di Laboratorium Tanah, Tanaman, Pupuk, Air Badan Standardisasi Instrumen Pertanian, Laboratorium Pengujian BPSIP Kalimantan Timur.

Analisis Termogravimetri

Analisis termogravimetri mikroalga *Spirulina platensis* dilakukan menggunakan alat TGA/DSC 1 STAR^e System, Metler Toledo dengan *software* Stare evaluation. Pada tahap preparasi, *crucible* (aluminium oksida $70\ \mu\text{L}$) dibersihkan dengan iso-propil alkohol dan kemudian dikeringkan. Pada tahap analisis termogravimetri, *crucible* dimasukan ke dalam alat TGA dan ditera hingga massa *crucible* bernilai 0 mg. Setelah itu, 5 – 10 mg serbuk mikroalga *Spirulina platensis* dimasukkan ke dalam *crucible* menggunakan spatula dan permukaan sampel diratakan secara perlahan. Selanjutnya, *crucible* yang berisi sampel dimasukkan ke dalam TGA. Lalu, sampel dipanaskan dari suhu ruang hingga 800°C di bawah aliran gas N_2 (laju alir = $50\ \text{mL}/\text{menit}$) dengan variasi laju pemanasan $10^{\circ}\text{C}/\text{menit}$. Hasil analisis yang diperoleh berupa kurva TGA atau termogram yang menampilkan perubahan massa (%) vs temperatur ($^{\circ}\text{C}$). Pada tahap teknik analisis data, data tersebut akan dianalisis menggunakan *software* Stare evaluation. Pada kurva TG dan DTG analisis termogravimetri mikroalga *Spirulina platensis* dianalisis berdasarkan metode yang dijelaskan dalam penelitian sebelumnya [9]. Penentuan T_1 (suhu awal pirolisis aktif) dan T_2 (suhu akhir pirolisis aktif) adalah sebagai berikut: T_1 merupakan suhu pada saat kurva TG telah melandai setelah tahap penghilangan air dan juga merupakan suhu pada nilai optimum puncak pertama pada kurva DTG, sedangkan suhu akhir (T_2) pirolisis aktif berkisar disuhu $\sim 550^{\circ}\text{C}$, dimana kurva TG telah melandai (Gambar 1).



Gambar 1. Kurva TG dan DTG

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Mikroalga *Spirulina platensis*

Analisis proksimat yang dilakukan pada mikroalga *Spirulina platensis* ialah kadar air dan kadar abu. Kedua analisis tersebut, dapat membantu dalam mengetahui kualitas dari biomassa yang dihasilkan yang mana kadar air dapat mengindikasikan kandungan air dan zat yang mudah menguap, suhu endoterm pembakaran biomassa serta nilai kalor produk pirolisis dari biomassa. Semakin besar kadar air maka nilai kalor dari biomassa akan semakin kecil [10], dan suhu endoterm pembakaran biomassa akan semakin besar. Selain kadar air, terdapat juga analisis kadar abu yang dapat mempengaruhi efisiensi bio-oil dan jenis senyawa yang dihasilkan karena adanya aktivitas katalitik abu pada mineral anorganik yang dapat sehingga meningkatkan pembentukan gas dan arang serta menurunkan hasil bio-oil [11]. Berdasarkan hasil analisis, didapatkan kadar air sebesar 8,34% dan kadar abu sebesar 7,18%.

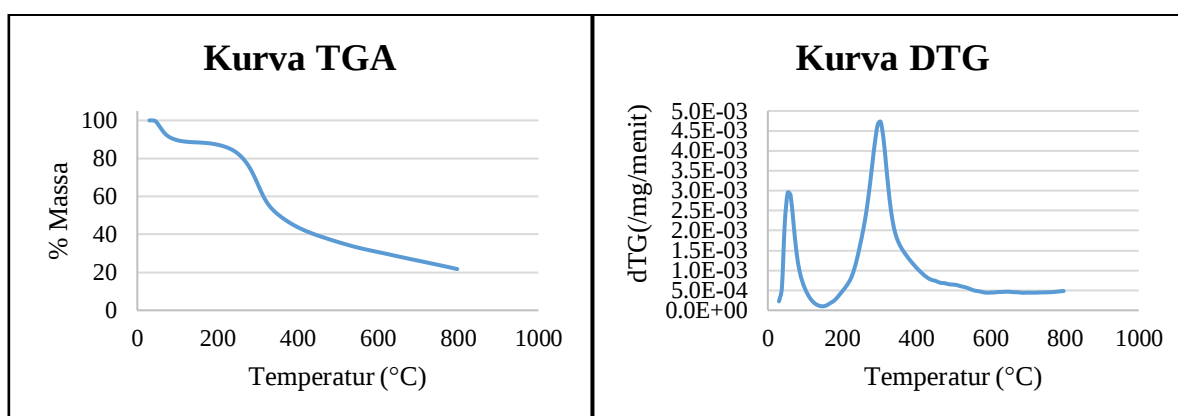
Tabel 1. Analisis Proksimat mikroalga *Spirulina platensis*

Analisis Proksimat	
Parameter	Kadar
Kadar Air	8,34%
Kadar Abu	7,18%

Pirolisis dengan TGA

Analisis termogravimetri adalah analisis yang dilakukan dalam lingkungan atmosfer yang terkontrol dan dialiri oleh gas inert berupa nitrogen dimana terjadi proses degradasi biomassa selama proses pirolisis berlangsung. Analisis tersebut mendeskripsikan perubahan massa sebagai fungsi suhu [8]. Pada penelitian ini, dilakukan pirolisis mikroalga *Spirulina platensis* pada laju pemanasan 10°C/menit menggunakan metode termogravimetri. Laju pemanasan yang digunakan mempengaruhi perpindahan panas, dimana perpindahan panas yang terjadi dengan laju pemanasan yang lebih rendah memungkinkan pemanasan partikel secara bertahap [12].

Pada pirolisis mikroalga *Spirulina platensis* dengan laju pemanasan 10°C/menit memiliki rentang suhu aktif pirolisis antara 147 - 502°C. Rentang suhu tersebut, didapatkan dari kurva TG yang mengalami penghilangan massa yang maksimum ditandai dengan kurva TG telah melandai dan kurva DTG yang mengalami laju degradasi secara maksimum yang ditandai dengan puncak maksimum pada kurva DTG.



Gambar 2. Kurva TG dan DTG

Dalam kurva TG dan DTG, terjadi tiga tahap degradasi (**Gambar 2**) yakni penguapan air, pirolisis aktif dan pirolisis pasif. Tahap pertama, penguapan air dimana terjadi pengurangan kandungan air dan pelepasan zat-zat yang mudah menguap, seperti klorofil yang terjadi di antara suhu 100-200°C dengan pengurangan massa berkisar 11-15%. Tahap kedua, proses devolatilisasi utama/pirolisis aktif dimana akan terbentuk dua puncak yakni puncak yang mewakili degradasi protein dan karbohidrat pada suhu rendah, dan puncak yang mewakili degradasi lipid pada suhu tinggi karena memiliki stabilitas termal yang tinggi. Namun, pada kurva ini yang terlihat jelas hanyalah satu puncak dikarenakan pada mikroalga *Spirulina platensis* kandungan protein, yakni sebesar 65,2 % wt lebih tinggi dibandingkan

dengan kandungan karbohidrat dan lipid hanya sebesar 19,8% wt dan 8,7 % wt berturut-turut [13]. Tahap ini terjadi di antara suhu 200-530°C dengan pengurangan massa berkisar 55-60%. Tahap ketiga, proses pirolisis pasif atau yang biasa dikenal dengan gasifikasi dimana pengurangan massa akan terjadi secara lama karena terjadi proses degradasi bahan karbon *non-volatile* dan residu padat yang terjadi pada suhu > 530°C [8].

Tahap degradasi dimulai dari suhu $\leq 150^{\circ}\text{C}$ dengan kecenderungan pengurangan massa yang terjadi secara bertahap, semakin meningkat. Selanjutnya, suhu dimana degradasi biomassa menjadi maksimal yakni berkisar 150-518°C dan tahap terakhir yakni proses pirolisis pasif yang ditandai dengan kurva TG melandai $\geq 550^{\circ}\text{C}$.

Tabel 2. Tahap proses pirolisis mikroalga *Spirulina platensis*

Tahap	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Pengurangan Massa (%)
Penguapan Air	≤ 150	12,20
Pirolisis Aktif	150 - 502	52,46
Pirolisis Pasif	≥ 550	14,28

Berdasarkan **tabel 2**, pada pirolisis mikroalga *Spirulina platensis*, tahap pertama (penguapan air) terjadi pada suhu $\leq 150^{\circ}\text{C}$ dengan pengurangan massa sebesar 12,20%. Pada tahap ini terjadi dekomposisi senyawa-senyawa organik yang memiliki titik didih rendah yakni $\leq 150^{\circ}\text{C}$. Selain itu, terjadi pula dekomposisi klorofil pada rentang suhu 80-145°C [14]. Tahap kedua, pirolisis aktif/utama terjadi pada rentang suhu 150-502°C dengan pengurangan massa sebesar 52,46% yang mana mikroalga mengalami penurunan massa yang maksimum. Pada tahap ini terjadi dekomposisi karbohidrat, protein dan lipid pada rentang suhu berbeda [9], meliputi 200-300°C untuk dekomposisi karbohidrat terjadi pemutusan ikatan meliputi C=C, CH, C=N, C=O, O-H dan O=O yang memiliki energi ikatan tinggi, 280-400°C untuk dekomposisi protein terjadi pemutusan ikatan C-N, N-H dan C-H yang memiliki energi ikatan rendah dan 270-550°C untuk dekomposisi lipid. Terutama, pada rentang suhu 280-350°C terjadi penurunan massa yang maksimum karena dekomposisi dari protein yang terkandung pada mikroalga yang cukup tinggi. Dekomposisi termal tersebut, melibatkan reaksi depolimerisasi, dekarboksilasi dan cracking. Tahap ketiga, pirolisis pasif mikroalga *Spirulina platensis* terjadi pada suhu $\geq 502^{\circ}\text{C}$ dengan pengurangan massa sebesar 14,28%. Pada tahap ini, gas yang dilepaskan ialah gas yang tidak terkondensasi dari arang, seperti CO, CO₂, H₂, dan CH₄ [15].

KESIMPULAN

Mikroalga *Spirulina platensis* memiliki kadar air sebesar 8,34 % dan kadar abu sebesar 7,18%. Pada pola dekomposisi mikroalga *Spirulina platensis* terbagi menjadi 3 tahap, yakni penguapan air, pirolisis aktif dan pirolisis pasif. Tahap pertama, penguapan air terjadi di suhu $\leq 150^{\circ}\text{C}$ dengan pengurangan massa sebesar 12,20%. Tahap kedua, pirolisis aktif/utama terjadi pada rentang suhu 150-502°C dengan pengurangan massa sebesar 52,46% Tahap ketiga, pirolisis pasif mikroalga *Spirulina platensis* terjadi pada suhu $\geq 502^{\circ}\text{C}$ dengan pengurangan massa sebesar 14,28%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi atas bantuan dana dalam pelaksanaan penelitian penulis melalui hibah The World Class Research Grant (nomor kontak 031/E5/PG/02.00.PL/2023). Ucapan terima-kasih ditujukan kepada Puan Aida dari Universitas Sains Malaysia atas dukungan dan bantuannya selama pelaksanaan analisis termogravimetri. Serta terima kasih kepada ibu Dr. R. R Dirgarini J.N.S., M.Sc atas bimbingannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ridhuan, K., Irawan, D., & Inthifawzi, R. (2019). Proses Pembakaran Pirolisis Dengan Jenis Biomassa Dan Karakteristik Asap Cair Yang Dihasilkan. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 8(1), 69-78.

- [2] Chusniyah, D. A., Pratiwi, R., Benyamin, B., Akbar, R., Sugiarti, L., & Abidin, M. Z. (2022). Studi Efektivitas Briket Biomassa Berbahan Limbah Rumah Tangga. *Jurnal Abdi Masyarakat Indonesia (JAMIN)*, 4(1).
- [3] Hindarti, F., & Ayuningtyas, E. (2020). Pengembangan Teknik Kultivasi *Spirulina Sp.* Sebagai Sumber Biomassa Energi Terbarukan Dalam Fotobioreaktor Airlift. *Jurnal Energi dan Lingkungan (Enerlink)*, 16(1), 17-24.
- [4] Zuorro, A., García-Martínez, J. B., & Barajas-Solano, A. F. (2021). The Application of Catalytic Processes on The Production of Algae-Based Biofuels: A review. *Catalysts*, 11(1), 22.
- [5] Jamilatun, S., Mahardhika, R., Nurshinta, I. E., & Sithopyta, L. M. (2021). In-Situ Catalytic Pyrolysis of *Spirulina platensis* residue (SPR): Effect of Temperature and Amount of C12-4 Catalyst on Product Yield. *Jurnal Rekayasa Proses*, 15(1), 14-27.
- [6] Febriyanti, F., Fadila, N., Sanjaya, A. S., Bindar, Y., & Irawan, A. (2019). Pemanfaatan limbah tandan kosong kelapa sawit menjadi bio-char, bio-oil dan gas dengan metode pirolisis. *Jurnal Chemurgy*, 3(2), 12-17.
- [7] Dwivedi, K. K., Chatterjee, P. K., Karmakar, M. K., & Pramanick, A. K. (2019). Pyrolysis Characteristics and Kinetics of Indian Low Rank Coal Using Thermogravimetric Analysis. *International Journal of Coal Science and Technology*, 6(1), 102-112.
- [8] Escalante, J., Chen, W. H., Tabatabaei, M., Hoang, A. T., Kwon, E. E., Andrew Lin, K. Y., & Saravanakumar, A. (2022). Pyrolysis of Lignocellulosic, Algal, Plastic, and Other Biomass Wastes For Biofuel Production and Circular Bioeconomy: A Review of Thermogravimetric Analysis (TGA) Approach. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 169, 112914.
- [9] Subagyono, R. R. D. J. N., Putri, S. A., Manawan, M., Mollah, M., Nugroho, R. A., & Gunawan, R. (2023). Catalytic Pyrolysis of the Green Microalgae *Botryococcus braunii* over Ni/SBA-15 Prepared by the Ultrasonic-Assisted Sol-Gel Method. *ACS Omega*, 8(9), 8582-8595.
- [10] Villaver, W. S., Carpio, R. B., Yap, K. J., & De Leon, R. L. (2018). Effects of Temperature and Reaction Time on Yield and Properties of Biocrude Oil Produced by Hydrothermal Liquefaction of *Spirulina platensis*. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, 7(1), 32-41.
- [11] Jafarian, S., & Tavasoli, A. (2018). A Comparative Study on The Quality of Bioproducts Derived from Catalytic Pyrolysis of Green Microalgae *Spirulina (Arthrospira) plantensis* Over Transition Metals Supported on HMS-ZSM5 Composite. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(43), 19902-19917.
- [12] Yao, Z., Yu, S., Su, W., Wu, W., Tang, J., & 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(1), 77-85.
- [13] Vuppaladiyam, A. K., Liu, H., Zhao, M., Soomro, A. F., Memon, M. Z., & Dupont, V. (2019). Thermogravimetric and Kinetic Analysis to Discern Synergy During the Co-Pyrolysis of Microalgae and Swine Manure Digestate. *Biotechnology for biofuels*, 12, 1-18.
- [14] Subagyono, R. R. D. J. N., Masdalifa, W., Aminah, S., Nugroho, R. A., Mollah, M., Londong Allo, V., & Gunawan, R. (2021). Kinetic Study of Copyrolysis of the Green Microalgae *Botryococcus braunii* and Victorian Brown Coal by Thermogravimetric Analysis. *ACS Omega*, 6(47), 32032-32042.
- [15] Jamilatun, S., Budhijanto, Rochmadi, & Budiman, A. (2017). Thermal Decomposition and Kinetic Studies of Pyrolysis of *Spirulina platensis* residue. *International Journal of Renewable Energy Development*, 6(3), 193-201.