

PIROLISIS MIKROALGA *Spirulina platensis* MENGGUNAKAN THERMOGRAVIMETRIC ANALYZER DENGAN LAJU PEMANASAN 20°C/MENIT

PYROLYSIS OF MICROALGAE *Spirulina platensis* USING THERMOGRAVIMETRIC ANALYZER WITH HEATING RATE OF 20°C/MINUTE

Nabila Mutiara Madani, RR. Dirgarini Julia Nurlianti Subagyono*, Mohd. Asyraf Kassim
Laboratorium Kimia Fisik, Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

*Corresponding author's email: dirgarini@fmipa.unmul.ac.id

Diterbitkan: 31 Oktober 2024

ABSTRACT

Pyrolysis of microalgae *Spirulina platensis* using a thermogravimetric analyzer with a heating rate of 20°C/min was carried out. The thermal decomposition pattern and temperature range of active and passive pyrolysis of *Spirulina platensis* pyrolysis are the focus of this study. Based on the analysis, the water content and ash content of green microalgae *Spirulina platensis* were 8.34% and 7.18%. The decomposition pattern in *Spirulina platensis* pyrolysis is divided into three stages, namely water evaporation occurs at temperatures ≤ 150 °C, the main devolatilization stage or active pyrolysis occurs in the temperature range 155 - 536 °C and the passive pyrolysis stage occurs at temperatures ≥ 536 °C.

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

PENDAHULUAN

Energi yang berasal dari bahan bakar fosil merupakan aset penting dalam upaya membangun ekonomi yang berkelanjutan. Tetapi permintaan global akan energi untuk industrialisasi dan kebutuhan populasi yang meningkat menjadi tak terkendali menyebabkan menipisnya ketersediaan bahan bakar fosil dengan cepat sehingga dibutuhkan alternatif pengganti bahan bakar fosil yang terbarukan dan berkelanjutan salah satunya adalah biomassa. Energi yang dihasilkan dari biomassa merupakan alternatif yang menjanjikan karena dapat menjadi sumber energi yang ramah lingkungan dengan emisi CO₂ dan sulfur yang rendah serta energi yang dihasilkan dapat diubah menjadi berbagai bentuk bahan bakar baik padat, cair dan gas [1]. Salah satu biomassa yang memiliki potensi sebagai bahan bakar adalah mikroalga *Spirulina platensis*. Mikroalga memiliki ukuran skala mikro dengan reproduktifitas cepat dengan kemampuan adaptasi yang baik serta penyerapan karbon dan tingkat konversi yang tinggi sebagai biofuel dengan potensi yang besar [2]. Mikroalga *Spirulina platensis* termasuk ke dalam golongan alga hijau biru dengan kandungan kandungan lipid 4-9 wt.%, karbohidrat 8-14 wt.%, dan kandungan protein yang tinggi 46-63 wt serta adanya asam lemak, vitamin, dan mineral [3].

Salah satu metode teknologi yang dapat mengubah biomassa makroalga menjadi bahan bakar melibatkan proses konversi termokimia seperti pirolisis, gasifikasi, dan pembakaran. Pirolisis adalah suatu proses termokimia di mana biomassa terurai menjadi beberapa produk berguna tanpa kehadiran oksigen. Selama proses pirolisis, ikatan molekul hidrokarbon kompleks dari biomassa akan terurai menjadi molekul yang lebih kecil dalam bentuk gas, cair, atau arang. Proses ini berlangsung dengan cepat dan menghasilkan rantai molekul hidrokarbon yang lebih pendek, yang memudahkan untuk dikondensasi menjadi bio-oil [1]. Selanjutnya dilakukan analisis termogravimetri untuk mengetahui pola dekomposisi termal dan stabilitas termal dari *Spirulina platensis* tersebut [4]. Data yang didapat dari Analisis Termogravimetri (TGA) dapat dengan mudah dianalisis untuk memahami bagaimana perilaku termal pirolisis biomassa yang dikatalisis. Secara spesifik, data TGA disajikan dalam bentuk kurva yang menunjukkan perubahan berat terhadap perubahan suhu, yang dikenal sebagai kurva Termogravimetri (TGA), dan juga dalam bentuk kurva turunan (DTG) [5].

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



Pada penelitian ini dilakukan pirolisis *Spirulina platensis* dengan laju pemanasan $20^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ dengan instrumen TGA. Studi ini difokuskan pada pola dekomposisi termal dan rentang suhu aktif dari pirolisis *Spirulina platensis*.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan Bahan Penelitian

Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini, yaitu timbangan, spatula, seperangkat alat gelas, botol sampel, botol semprot, Vortex V-1 plus, TGA/DSC 1 STARe system, Metler Toledo dengan *software stare evaluation*, Aluminium Oxide Crucibles $70\ \mu\text{L}$.

Bahan Penelitian

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

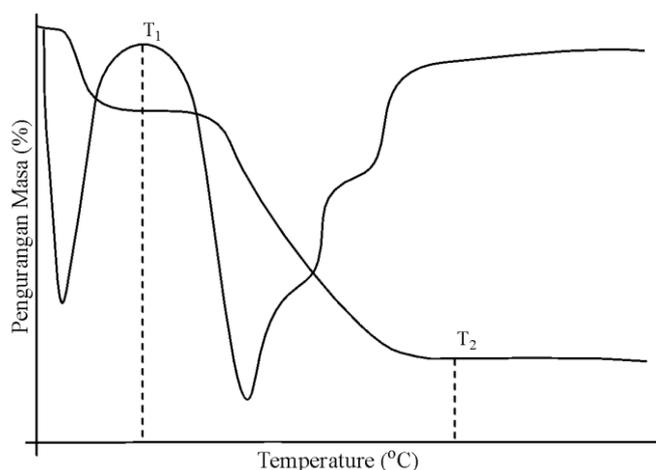
Prosedur Penelitian

Karakterisasi Sampel Biomassa

Analisis kadar air dan abu pada mikroalga hijau *Spirulina platensis* dilakukan oleh Laboratorium Tanah, Tanaman, Pupuk, Air, Badan Standardisasi Instrumen Pertanian, Laboratorium Pengujian BSIP Kalimantan Timur. Analisis kadar air dilakukan dengan metode IKM TN (Juknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk) 02 sedangkan analisis kadar abu menggunakan metode IKM TN (Juknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk) 09.

Analisis Termogravimetri

Analisis termogravimetri mikroalga hijau *Spirulina platensis* dilakukan dengan menggunakan instrumen TGA/DSC 1 STARe System, Metler Toledo dengan *software Stare evaluation*. Saat preparasi, crucible (aluminium oksida $70\ \mu\text{L}$) dibilas menggunakan iso-propil alkohol lalu dikeringkan. Kemudian crucible dimasukkan ke dalam alat TGA dan diterakan hingga massa crucible bernilai 0 mg. Lalu, sebanyak 5-10 mg sampel mikroalga *Spirulina platensis* dimasukkan ke dalam crucible menggunakan spatula serta permukaan sampel diratakan. Setelah itu, crucible yang berisi sampel dimasukkan ke dalam TGA. Selanjutnya sampel dipanaskan di bawah aliran gas N_2 (laju alir = $50\ \text{mL}/\text{menit}$) mulai suhu ruang hingga suhu 800°C dengan laju pemanasan $20^{\circ}\text{C}/\text{menit}$. Hasil analisis yang diperoleh berupa kurva TGA atau termogram yang merupakan fungsi perubahan massa (%) vs temperatur ($^{\circ}\text{C}$). Data yang diperoleh dari analisis termogravimetri berupa kurva TGA yang dianalisis menggunakan *software Stare evaluation*. Kurva TG dan dTG pirolisis *Spirulina platensis* dianalisis menggunakan metode yang telah dijelaskan pada penelitian sebelumnya (Subagyono *et al.*, 2023), di mana penentuan T_1 (suhu awal pirolisis aktif) dan T_2 (suhu akhir pirolisis aktif) sebagai berikut: T_1 adalah suhu saat kurva TG telah melandai setelah proses penghilangan air dan merupakan suhu pada nilai optimum puncak pertama pada kurva dTG, sementara itu suhu akhir pirolisis aktif (T_2) berkisar di suhu $\sim 550^{\circ}\text{C}$ saat kurva TG telah melandai pada Gambar 1.



Gambar 1. Kurva TG dan dTG

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Mikroalga Hijau *Spirulina platensis*

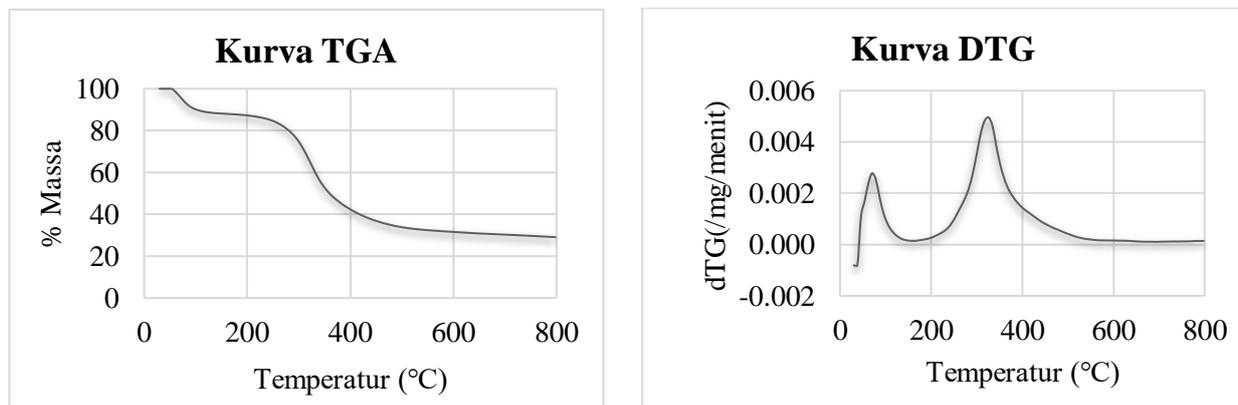
Analisis komposisi secara fisik maupun kimia adalah karakterisasi yang penting bagi setiap biomassa karena sifat fisiokimia berpengaruh nyata terhadap konversi biomassa dan sifat yang diperhatikan adalah kadar air, nilai kalor produk tinggi, karbon tetap, bahan mudah menguap, abu/residu, logam alkali dan rasio selulosa/lignin. [6]. Kadar air yang tinggi pada biomassa menggunakan lebih banyak energi untuk penguapan dan menurunkan nilai kalor sehingga dapat menurunkan efisiensi konversi biomassa sebagai bahan bakar [7]. Selain itu, produk biomassa dengan kadar abu yang tinggi dapat menyebabkan korosi atau pembentukan terak sehingga menghambat difusi oksigen selama pembakaran pada peralatan pirolisis dan mengurangi kandungan energi bahan bakar secara proporsional [8]. Pada penelitian ini biomassa yang dikarakterisasi yakni *Spirulina platensis* dengan kadar air sebesar 8,34% dan kadar abu sebesar 7,18%.

Tabel 1. Karakterisasi Mikroalga *Spirulina platensis*

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

Pirolisis dengan TGA

Analisis termogravimetri (TGA) dalam penelitian ini digunakan untuk memprediksi perilaku termal biomassa selama pirolisis di mana hilangnya massa dari bahan baku ditentukan terhadap suhu di bawah kendali laju pemanasan dan kondisi atmosfer (udara/inert) [6]. Pirolisis mikroalga hijau *Spirulina platensis* yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan analisis termogravimetri dengan laju pemanasan 20°C/menit. Tinggi rendahnya laju pemanasan yang digunakan sangat berpengaruh selama proses pirolisis berlangsung. Dimana laju pemanasan yang tinggi mengakibatkan suhu meningkat dengan cepat sehingga lebih banyak komponen dalam sampel yang terurai tetapi proses dekomposisi perlu menyesuaikan diri dengan laju suhu karena menyebabkan laju reaksi menjadi lebih tinggi [9].



Gambar 2. Kurva TG dan dTG pirolisis *Spirulina platensis*

Penentuan suhu aktif pirolisis dilakukan berdasarkan data pada kurva TG dan dTG (**Gambar 1**). Dimana kurva TG menjelaskan pengurangan berat sampel seiring dengan kenaikan suhu sedangkan kurva dTG menjelaskan laju dekomposisi pirolisis mencapai laju maksimum selama pirolisis. Proses dekomposisi dalam pirolisis terbagi menjadi 3 tahap yakni tahap penguapan air, pirolisis aktif dan pirolisis pasif. Tahap pertama yakni tahap penguapan air yang melibatkan peristiwa penguapan air dan senyawa-senyawa ringan mudah menguap seperti klorofil. Konversi biomassa pada laju reaksi tertinggi pada tahap pertama hanya 7—8% dari total bahan baku. Tahap kedua merupakan tahap pirolisis aktif yakni proses devolatilisasi utami dengan sejumlah besar biomassa terdegradasi. Pada tahap ini terdapat dua puncak dengan puncak utama yang umumnya menginterpretasikan penguraian

protein dan karbohidrat pada suhu rendah serta puncak kedua menjelaskan tentang penguraian lipid di suhu tinggi. Namun pada penelitian ini diperoleh kurva dengan satu puncak karena terjadi *overlapping* antar kedua puncak, Dimana puncak tertinggi menjelaskan penguraian karbohidrat dan protein. Hal ini dikarenakan mikroalga *Spirulina platensis* memiliki kandungan protein lebih besar dibandingkan dengan karbohidrat dan protein. Tahap ketiga adalah pirolisis pasif yang melibatkan peristiwa gasifikasi dan pembentukan senyawa karbon nonvolatil membentuk gas CO.

Tabel 2. Tahapan Proses Pirolisis Mikroalga *Spirulina platensis*

Tahap	Suhu (°C)	Pengurangan Massa (%)
Penguapan Air	≤150	11,81
Pirolisis Aktif	± 155-536	58,25
Pirolisis Pasif	≥536	4,46

Berdasarkan **Tabel 2** di atas, pada pirolisis mikroalga hijau *Spirulina platensis* tahap penguapan air terjadi pada suhu ≤ 150°C dengan pengurangan massa sebesar 11,81%. Pada tahap ini juga terjadi penataan ulang internal seperti pemutusan ikatan, munculnya radikal bebas dan pembentukan karbonil (CO =) dan gugus karboksil (COOH). Selain itu, degradasi pigmen fotosintesis, termasuk klorofil A dan B juga dapat terjadi pada suhu 80 hingga 120°C [10]. Selanjutnya, tahap pirolisis aktif terjadi pada kisaran suhu 155-536°C dengan pengurangan massa sebesar 58,25%. Pada rentang suhu ini terjadi reaksi kimia kompleks seperti dekarboksilasi, depolimerisasi, dan perengkahan yang menyebabkan degradasi molekul hemiselulosa dan selulosa. Degradasi karbohidrat, protein, dan lipid masing-masing terjadi antara 180 – 500 °C, 200 – 300 °C, dan 200 – 600 °C, bergantung pada panjang rantai dan kompleksitas makromolekul tersebut [11]. Tahap terakhir yakni pirolisis pasif terjadi pada suhu ≥ 536°C dengan pengurangan berat sebesar 4,46%. Tahap ini melibatkan dekomposisi arang atau bahan berkarbon lainnya dan gasifikasi parsial.

KESIMPULAN

Proses degradasi pada pirolisis *Spirulina platensis* dibagi menjadi tiga tahap. Tahap pertama adalah penguapan air yang terjadi pada suhu ≤ 150°C dengan pengurangan massa sebesar 11,81%. Tahap kedua yakni pirolisis aktif yang berlangsung pada rentang suhu 155- 536°C dengan pengurangan massa sebesar 58,25% dan tahap ketiga yakni pirolisis pasif terjadi pada suhu ≥ 536°C dengan pengurangan massa sebesar 4,46%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi atas bantuan dana yang telah diberikan untuk melakukan penelitian penulis melalui hibah The World Class Research Grant dengan nomor kontrak 031/E5/PG/02.00.PL/ 2023. Serta ucapan terima-kasih juga diberikan kepada Puan Aida dari Universitas Sains Malaysia atas bantuannya selama melakukan analisis termogravimetri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Darma, I. W. A., Ngurah, I. G., & Tenaya, P. (2022). Studi Kinetika dan Energi Aktivasi pada Proses Pirolisis Makroalga *Ulva Lactuca* (Selada Laut). *vol, 8*, 153-160.
- [2] Ramadhan, I., Maya, N. M., Safrilia, S., Kurniasari, L., Hidayah, E. N., & Farahdiba, A. U. (2021). Potensi Biofuel pada Mikroalga dengan Variasi Limbah Menggunakan Oxidation Ditch Algae Reactor. *Enviroous, 1*(2), 93-101.
- [3] Jamilatun, S., Setyawan, M., Mufandi, I., & Budiman, A. (2019). Potensi Produk Cair (Oil phase dan Water phase) Dari Pirolisis Mikroalga Sebagai Pengawet Makanan. *Chemica Jurnal Teknik Kimia, 6*(2), 83-93.
- [4] Dewi, W. U. (2017). Evaluation of Thermal Decomposition Kinetics of AP/HTPB Composite Solid Propellant Using Kissinger, Flynn Wall Ozawa and Coats-Redfrem Method. *Jurnal Teknologi Dirgantara, 15*(2), 115-132.

- [5] Balasundram, V., Ibrahim, N., Kasmani, R. M., Hamid, M. K. A., Isha, R., Hasbullah, H., & Ali, R. R. (2017). The effect of catalyst loading (Ni-Ce/Al₂O₃) on coconut copra pyrolysis via thermogravimetric analyser. *Chemical Engineering Transactions*, 56, 901-906.
- [6] Shah, M. A., Khan, M. N. S., & Kumar, V. (2018). Biomass residue characterization for their potential application as biofuels. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 134, 2137-2145.
- [7] Sukarni, Sudjito, Hamidi, N., Yanuhar, U., & Wardana, I. N. G. (2014). Potential and properties of marine microalgae *Nannochloropsis oculata* as biomass fuel feedstock. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 5, 279-290.
- [8] Muñoz, R., Navia, R., Ciudad, G., Tessini, C., Jeison, D., Mella, R., & Azocar, L. (2015). Preliminary biorefinery process proposal for protein and biofuels recovery from microalgae. *Fuel*, 150, 425-433.
- [9] Escalante, J., Chen, W. H., Tabatabaei, M., Hoang, A. T., Kwon, E. E., Lin, K. Y. A., & 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.
- [10] Paula, S. F., Chagas, B. M., Pereira, M. I., Rangel, A. H., Sassi, C. F., Borba, L. H., & Araújo, R. M. (2022). Pyrolysis-GCMS of *Spirulina platensis*: Evaluation of biomasses cultivated under autotrophic and mixotrophic conditions. *Plos one*, 17(10), e0276317.
- [11] Mohit, A., & Remya, N. (2023). Pyrolysis characteristics and kinetics study of native polyculture microalgae using thermogravimetric analysis. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-9.