



Pengaruh Variasi Suhu Pirolisis terhadap Karakteristik Bio-Oil dari Limbah Batang Tembakau sebagai Bahan Bakar Alternatif

Bagus Dwi Kurniawan¹, Asroful Abidin², Kosjoko³

¹Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jember

¹bajosjos@gmail.com*, ²asrofulabidin@unmuhjember.ac.id, ³Kosjoko@unmuhjember.ac.id

Abstract

Tobacco stalk waste has potential as an alternative feedstock for bio-oil production through pyrolysis. Pyrolysis is a thermochemical method that converts biomass into bio-oil, biochar, and pyrolytic gas, with varying temperatures affecting product characteristics. However, the quality of the resulting bio-oil depends on process parameters, particularly pyrolysis temperature, which influences pH levels, Total Dissolved Solids (TDS), and alcohol content. This study aims to evaluate the effect of pyrolysis temperature variation on the characteristics of bio-oil derived from tobacco stalk waste to optimize its utilization as an alternative fuel. Experiments were conducted using pyrolysis temperatures of 290°C, 390°C, and 490°C for 60 minutes, followed by an analysis of bio-oil properties through pH, TDS, and alcohol content measurements. The results indicate that increasing pyrolysis temperature leads to higher acidity in bio-oil, limiting its application in conventional engines but making it suitable for direct combustion in boilers. TDS levels increased up to 390°C before slightly decreasing at 490°C, suggesting thermal degradation of dissolved compounds at higher temperatures. Additionally, alcohol content in the bio-oil declined as pyrolysis temperature increased due to greater volatility at elevated heat levels. This research provides insights into the characteristics of bio-oil from tobacco stalk pyrolysis, serving as a reference for optimizing biomass conversion technologies for more efficient and sustainable energy applications.

Keywords: Bio-Oil, Fuel Characteristics, Pyrolysis, Pyrolysis Temperature, Tobacco Stalk Waste.

Abstrak

Limbah batang tembakau memiliki potensi sebagai bahan baku alternatif untuk produksi bio-oil melalui pirolisis. Pirolisis adalah metode termokimia yang mengubah biomassa menjadi bio-oil, biochar, dan gas pirolitik, dengan suhu yang berbeda memengaruhi karakteristik produk. Namun, kualitas bio-oil yang dihasilkan bergantung pada parameter proses, terutama suhu pirolisis, yang memengaruhi tingkat pH, Total Padatan Terlarut (TDS), dan kadar alkohol. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi suhu pirolisis terhadap karakteristik bio-oil yang berasal dari limbah batang tembakau guna mengoptimalkan pemanfaatannya sebagai bahan bakar alternatif. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan suhu pirolisis 290°C, 390°C, dan 490°C selama 60 menit, kemudian dianalisis sifat bio-oil melalui pengukuran pH, TDS, dan kadar alkohol. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan suhu pirolisis menyebabkan peningkatan keasaman bio-oil, yang membatasi penggunaannya pada mesin konvensional namun membuatnya cocok untuk pembakaran langsung di boiler. Tingkat TDS meningkat hingga suhu 390°C sebelum sedikit menurun pada 490°C, yang mengindikasikan degradasi termal senyawa terlarut pada suhu tinggi. Selain itu, kadar alkohol dalam bio-oil menurun seiring meningkatnya suhu pirolisis karena volatilitas yang lebih besar pada tingkat panas yang tinggi. Penelitian ini memberikan wawasan mengenai karakteristik bio-oil dari pirolisis batang tembakau, yang dapat menjadi referensi dalam mengoptimalkan teknologi konversi biomassa untuk aplikasi energi yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Kata kunci: Bio-oil, Karakteristik bahan bakar, Pirolisis, Suhu pirolisis, Limbah batang tembakau

1. Pendahuluan

Permasalahan terkait ketersediaan energi fosil dan dampak lingkungannya semakin mendorong pengembangan sumber energi alternatif yang lebih

ramah lingkungan dan berkelanjutan. Biomassa, termasuk limbah pertanian seperti batang tembakau, telah menjadi salah satu bahan baku potensial dalam konversi energi melalui proses

pirolisis [1]. Pirolisis merupakan teknologi termokimia yang dapat mengubah biomassa menjadi bio-oil, biochar, dan gas pirolitik dengan variasi suhu tertentu [2]. Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa peningkatan suhu pirolisis berpengaruh terhadap karakteristik bio-oil yang dihasilkan, termasuk kadar pH, kadar Total Dissolved Solids (TDS), dan kadar alkohol [3].

Dalam penelitian sebelumnya, diketahui bahwa bio-oil hasil pirolisis memiliki sifat asam dengan kandungan H^+ yang meningkat seiring dengan kenaikan suhu proses [4]. Keasaman yang tinggi dapat menyebabkan korosi pada mesin konvensional, sehingga bio-oil lebih cocok digunakan sebagai bahan bakar langsung seperti pada sistem boiler [5]. Selain itu, kadar TDS dalam bio-oil mencerminkan kandungan senyawa terlarut yang dapat mempengaruhi kestabilan bahan bakar dan efisiensi pembakaran [6]. Kandungan alkohol dalam bio-oil juga mengalami perubahan akibat suhu pirolisis yang lebih tinggi, yang berkontribusi pada volatilitas dan kualitas bahan bakar [7].

Pirolisis dengan suhu 290°C hingga 490°C menunjukkan adanya pola perubahan dalam karakteristik bio-oil. Penelitian terdahulu menyebutkan bahwa peningkatan suhu menyebabkan peningkatan produk cair yang lebih kaya akan senyawa volatil [8]. Namun, pada suhu yang lebih tinggi, beberapa senyawa mengalami degradasi sehingga terjadi penurunan efisiensi energi bio-oil [9]. Studi terkait pemanfaatan limbah tembakau telah menunjukkan bahwa penggunaan metode pirolisis dapat meningkatkan nilai kalor bahan bakar, meskipun sifat kimia dari bio-oil perlu diperhatikan agar sesuai untuk aplikasi industri [10].

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi bagaimana variasi suhu pirolisis mempengaruhi karakteristik bio-oil yang dihasilkan dari limbah batang tembakau. Parameter yang diuji dalam penelitian ini adalah kadar pH, kadar TDS, dan kadar alkohol, yang menjadi faktor penting dalam menentukan kualitas bio-oil sebagai bahan bakar alternatif [11]. Dengan memahami hubungan antara parameter proses dan komposisi bio-oil, penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi pengembangan teknologi pirolisis yang lebih efektif dan efisien dalam memanfaatkan biomassa sebagai sumber energi terbarukan [12]. Lebih lanjut, penelitian ini juga dapat memberikan kontribusi dalam pemanfaatan limbah pertanian untuk meningkatkan nilai ekonomi dan mengurangi dampak lingkungan dari pembakaran limbah secara langsung [13].

Penelitian ini diharapkan dapat membantu industri dalam menentukan parameter optimal dalam pirolisis biomassa agar memperoleh bio-oil dengan kualitas terbaik [14]. Dengan pengembangan teknologi konversi biomassa melalui pirolisis, diharapkan dapat diperoleh solusi bahan bakar alternatif yang lebih berkelanjutan dan mendukung ketahanan energi di masa depan [15].

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk mengevaluasi pengaruh variasi suhu pirolisis terhadap karakteristik bio-oil yang dihasilkan dari limbah batang tembakau. Parameter yang diuji mencakup kadar pH, kadar Total Dissolved Solids (TDS), dan kadar alkohol, dengan tujuan untuk memahami bagaimana suhu pirolisis mempengaruhi komposisi bio-oil serta potensi pemanfaatannya sebagai bahan bakar alternatif. Variasi suhu pirolisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah 290°C, 390°C, dan 490°C. Tahapan penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu tahap pembuatan bio oil limbah batang tembakau menggunakan alat pirolisis, pengujian pH menggunakan pH meter, pengujian TDS menggunakan TDS meter dan pengujian kadar alkohol menggunakan alkohol meter. Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium teknik mesin universitas muhammadiyah Jember

2.1. Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini, sejumlah alat digunakan untuk proses pirolisis serta analisis sifat bio-oil yang dihasilkan:

- 1) Alat yang digunakan
 - a. PH meter – untuk mengukur kadar pH bio-oil dan menentukan sifat keasamannya.
 - b. TDS meter – untuk mengukur kadar padatan terlarut dalam bio-oil.
 - c. Alkohol meter – untuk mengetahui kandungan alkohol dalam bio-oil.
 - d. Talenan dan pisau – untuk preparasi bahan baku sebelum proses pirolisis.
 - e. Gelas ukur – untuk mengukur volume bio-oil yang dihasilkan.
 - f. Timbangan digital – untuk memastikan massa bahan baku konsisten dalam setiap perlakuan.
- 2) Bahan yang digunakan:

Limbah batang tembakau sebagai bahan baku utama untuk pirolisis.

2.2. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap yang meliputi persiapan bahan baku, proses pirolisis, dan analisis karakteristik bio-oil. Limbah batang tembakau dikeringkan terlebih dahulu sebelum dilakukan proses pirolisis dengan variasi suhu 290°C, 390°C, dan 490°C selama 60 menit. Bio-oil yang dihasilkan dari proses pirolisis kemudian dianalisis berdasarkan kadar pH, kadar TDS, dan kadar alkohol untuk mengevaluasi kualitasnya sebagai bahan bakar alternatif. Pengujian analisis kadar pH, kadar TDS, dan kadar alkohol dilakukan di laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Jember.

2.3. Variabel Penelitian

1) Variabel Bebas

Variasi suhu pirolisis (290°C, 390°C, 490°C).

2) Variabel Terikat

- Massa bahan baku tetap 300 gram.
- Parameter yang diuji: kadar pH, kadar TDS, dan kadar alkohol bio-oil.
- Waktu proses pirolisis tetap 60 menit.

3) Variabel Kontrol

- Jenis bahan baku berupa limbah batang tembakau.
- Waktu pirolisis dijaga konsisten pada 60 menit untuk setiap perlakuan guna memastikan hasil yang dapat dibandingkan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kadar pH

Proses pirolisis merupakan metode termokimia yang menghasilkan bio-oil dengan karakteristik tertentu, salah satunya adalah kadar pH yang berhubungan dengan kandungan ion hidrogen (H^+) dan hidroksil (OH^-). Kadar pH menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan suatu zat, di mana nilai $pH < 7$ menunjukkan sifat asam, sedangkan nilai $pH > 7$ menunjukkan sifat basa. Jika konsentrasi H^+ lebih besar dari OH^- , maka suatu zat bersifat asam, dan sebaliknya jika konsentrasi OH^- lebih besar dari H^+ , maka zat tersebut bersifat basa. Pada penelitian ini, dilakukan analisis kadar pH bio-oil hasil pirolisis batang tembakau dengan berbagai variasi suhu pirolisis. Nilai pH bio-oil yang diperoleh disusun dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Kadar pH Bio-Oil Hasil Pirolisis Batang Tembakau

No	Suhu pirolisis [°C]	Ukuran bahan [cm]	Berat bahan [Gram]	Bio oil [ml]	Kadar pH
1	-	3-5	300	-	7
2	290	3-5	300	50	2,8
3	390	3-5	300	125	4,0
4	490	3-5	300	95	4,3

Dari data pada Tabel 1, diketahui bahwa semakin tinggi suhu pirolisis, semakin rendah kadar pH bio-oil yang dihasilkan, menunjukkan peningkatan kandungan H^+ dalam bio-oil. Pada suhu 290°C, kadar pH bio-oil tercatat sebesar 2,8, menunjukkan sifat yang sangat asam. Peningkatan suhu pirolisis menjadi 390°C menyebabkan kenaikan pH sebesar 1,2, dengan kadar pH mencapai 4,0. Selanjutnya, pada suhu 490°C, kadar pH mengalami peningkatan 1,3 dari kondisi sebelumnya, menghasilkan pH sebesar 4,3.

Keasaman yang tinggi menunjukkan bahwa bio-oil hasil pirolisis batang tembakau hanya dapat digunakan sebagai bahan bakar langsung seperti pada sistem boiler. Penggunaan bio-oil dengan kadar asam tinggi pada mesin konvensional tidak disarankan, karena dapat menyebabkan korosi pada komponen mesin. Dengan demikian, semakin tinggi suhu pirolisis, semakin besar kandungan H^+ dalam bio-oil, yang berdampak pada peningkatan sifat asamnya.

3.2. Kadar TDS

Total Dissolved Solids (TDS) atau padatan terlarut merupakan senyawa organik dan anorganik yang terdispersi dalam cairan. TDS terdiri atas garam anorganik, zat organik, serta gas terlarut yang dapat mengalami perubahan selama proses pirolisis. Konsentrasi TDS dalam bio-oil yang diperoleh dari pirolisis batang tembakau dengan berbagai variasi suhu disajikan dalam Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Kadar TDS Bio-Oil Hasil Pirolisis Batang Tembakau

No	Suhu pirolisis[°C]	Kadar tds	Berat bahan [Gram]	Bio oil [ml]
1	-	419	300	-
2	290	782	300	50
3	390	899	300	125
4	490	827	300	95

Berdasarkan Tabel 2, kadar TDS mengalami peningkatan pada suhu pirolisis 290°C hingga 390°C, di mana kadar TDS pada bio-oil yang dihasilkan pada suhu 290°C adalah 782, kemudian meningkat menjadi 899 pada suhu 390°C. Peningkatan ini sebesar 117 menunjukkan bahwa suhu yang lebih tinggi berkontribusi terhadap peningkatan konsentrasi zat terlarut dalam bio-oil.

Namun, pada suhu 490°C, kadar TDS mengalami sedikit penurunan sebesar 72 dibandingkan dengan suhu 390°C, sehingga menghasilkan kadar TDS sebesar 827. Hal ini mengindikasikan bahwa pirolisis dengan suhu tinggi dapat menyebabkan degradasi lebih lanjut pada senyawa-senyawa terlarut dalam bio-oil, sehingga terjadi penurunan kadar TDS. Dengan demikian, proses pirolisis pada suhu 390°C menghasilkan kadar TDS tertinggi, sementara suhu 490°C menunjukkan adanya efek degradasi yang menyebabkan sedikit penurunan kandungan zat terlarut.

3.3. Kadar Alkohol

Alkohol merupakan senyawa dengan gugus hidroksil (-OH) yang terikat pada rantai karbon. Titik didih alkohol yang relatif rendah, yaitu 78,3°C, memungkinkan senyawa ini mudah teruapkan pada suhu tinggi. Oleh karena itu, kadar alkohol dalam bio-oil cenderung mengalami penurunan seiring dengan peningkatan suhu pirolisis. Data kadar alkohol dalam bio-oil hasil pirolisis batang tembakau disusun dalam Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Kadar Alkohol Bio-Oil Hasil Pirolisis Batang Tembakau

No	Suhu pirolisis [°C]	Berat bahan [Gram]	Bio oil [ml]	Kadar alkohol [%]
1	-	300	-	-
2	290	300	50	19
3	390	300	125	16
4	490	300	95	14

Dari data yang disajikan dalam Tabel 3, terlihat bahwa semakin tinggi suhu pirolisis, semakin rendah kadar alkohol dalam bio-oil yang dihasilkan. Pada suhu 290°C, kadar alkohol dalam bio-oil tercatat sebesar 19%. Kemudian, pada suhu 390°C, kadar alkohol mengalami penurunan 3%, sehingga menghasilkan kadar alkohol sebesar 16%. Selanjutnya, pada suhu 490°C, kadar alkohol dalam bio-oil kembali mengalami penurunan sebesar 2%, dengan hasil akhir sebesar 14%.

Penurunan kadar alkohol ini disebabkan oleh volatilitas senyawa alkohol yang semakin besar

pada suhu tinggi. Dengan peningkatan suhu pirolisis, lebih banyak alkohol yang menguap dan terdispersi ke atmosfer, sehingga konsentrasi alkohol dalam bio-oil semakin berkurang. Oleh karena itu, semakin tinggi suhu pirolisis, semakin rendah kadar alkohol yang terkandung dalam bio-oil, menunjukkan bahwa pirolisis pada suhu tinggi lebih efektif dalam menguapkan senyawa volatil seperti alkohol.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi suhu pirolisis memiliki pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik bio-oil yang dihasilkan dari limbah batang tembakau. Kadar pH menunjukkan peningkatan keasaman seiring dengan meningkatnya suhu pirolisis, yang membatasi penggunaan bio-oil dalam aplikasi mesin konvensional namun tetap sesuai sebagai bahan bakar langsung seperti boiler. Selain itu, kadar Total Dissolved Solids (TDS) mengalami peningkatan pada suhu 290°C hingga 390°C, tetapi mengalami sedikit penurunan pada suhu 490°C, menunjukkan bahwa suhu tinggi dapat menyebabkan degradasi senyawa terlarut dalam bio-oil. Kadar alkohol dalam bio-oil cenderung mengalami penurunan dengan meningkatnya suhu pirolisis, akibat volatilitas alkohol yang lebih tinggi pada kondisi pemanasan ekstrem. Dengan demikian, pemahaman mengenai hubungan antara parameter pirolisis dan karakteristik bio-oil sangat penting untuk mengoptimalkan proses konversi biomassa menjadi bahan bakar alternatif yang lebih efisien dan berkelanjutan. Penelitian ini memberikan dasar ilmiah bagi industri energi dalam menentukan kondisi optimal pirolisis untuk menghasilkan bio-oil berkualitas tinggi yang sesuai dengan kebutuhan spesifik penggunaannya. Selain itu, pemanfaatan limbah batang tembakau dalam produksi bio-oil berpotensi mengurangi limbah pertanian sekaligus memberikan kontribusi dalam pengembangan energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan.

Daftar Rujukan

- [1] S. Jamilatun, Budhijanto, Rochmadi, A. Yuliestyan, H. Hadiyanto, and A. Budiman, "Comparative analysis between pyrolysis products of *Spirulina platensis* biomass and its residues," *Int. J. Renew. Energy Dev.*, vol. 8, no. 2, pp. 133–140, 2019, doi: 10.14710/ijred.8.2.133-140.

- [2] I. A. E. A. N. U *et al.*, “MH*IA MAffim,” *J. Kim. Terap. Indones.*, vol. 15, no. 2, 2013.
- [3] Y. Ristianingsih, A. Ulfa, and R. Syafitri K.S., “Pengaruh Suhu Dan Konsentrasi Perekat Terhadap Karakteristik Briket Bioarang Berbahan Baku Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Proses Pirolisis,” *Konversi*, vol. 4, no. 2, p. 16, 2015, doi: 10.20527/k.v4i2.266.
- [4] Sunarno, Rochmadi, P. Mulyono, M. Aziz, and A. Budiman, “Kinetic study of catalytic cracking of bio-oil over silica-alumina catalyst,” *BioResources*, vol. 13, no. 1, pp. 1917–1929, 2018, doi: 10.15376/biores.13.1.1917-1929.
- [5] M. Jahiding, E. Nurfiati, E. S Hasan, R. S Rizki, and Mashuni, “Analisis Pengaruh Temperatur Pirolisis terhadap Kualitas Bahan Bakar Minyak dari Limbah Plastik Polipropilena,” *Gravitasi*, vol. 19, no. 1, pp. 6–10, 2020, doi: 10.22487/gravitasi.v19i1.15177.
- [6] A. P. Eltri *et al.*, “Pengaruh Waktu Blooming dan Massa Air Terhadap pH, TDS, dan EC Pada Kopi Robusta Liwa Lampung dengan Metode Aeropress,” *J. Teknol. dan Inov. Ind.*, vol. 3, no. 1, p. 2022, 2021.
- [7] Y. Prasetyo, B. Hidayat, and S. Bintang, “Karakteristik Kimia Biochar Dari Beberapa Biomassa Dan Metode Pirolisis,” *Agrium*, vol. 23, no. 1, pp. 17–21, 2020.
- [8] E. Erawati, T. W. Kirana, E. Budiayati, and W. B. Sediawan, “Kayu Glugu,” pp. 213–219, 2015.
- [9] M. Erawati, Wahyudi, “Modifikasi Mekanisme Koufopanos pada Kinetika Reaksi Pirolisis Ampas Tebu (Bagasse),” *J. Rekayasa Proses*, vol. 7, no. 1, pp. 14–18, 2014.
- [10] S. Wibowo, “Karakteristik Bio-Oil Dari Limbah Industri Hasil Hutan Menggunakan Pirolisis Cepat,” *J. Penelit. Has. Hutan*, vol. 34, no. 1, pp. 61–67, 2016, doi: 10.20886/jphh.2016.34.1.61-76.
- [11] A. Zulkana, “Pengaruh Temperatur Dan Ukuran Partikel Biomassa Terhadap Bio-Oil Hasil Pirolisis Ampas Tebu / Baggase,” *Teknoin*, vol. 22, no. 5, pp. 328–336, 2016, doi: 10.20885/teknoin.vol22.iss5.art2.
- [12] T. I. N. D. Siswati, “Energi Alternatif Melalui Konversi Thermal,” vol. 12, no. 1, pp. 117–122, 2012.
- [13] F. R. Rhomadoni *et al.*, “Mekanisme dan Aplikasi Pirolisis Biomassa Dalam Produksi Biochar , Bio-Oil dan Gas Pirolisis,” no. March, 2025.
- [14] I. Rosyadi, H. Wahyudi, D. Satria, Y. Yusvardi, and ..., “Analisis Hasil Pyrolisis Pada Limbah Biomassa Tongkol Jagung Dengan Kayu Akasia,” *Pros. ...*, pp. 229–234, 2018.
- [15] K. Ridhuan, D. Irawan, and R. Inthifawzi, “Pyrolysis Combustion Process with Biomass Type and Characteristics of The Liquid Smoke Produced,” *Turbo*, vol. 8, no. 1, pp. 69–78, 2019.