

Sintesis *Bio-Oil* dari Bonggol Jagung menggunakan Proses Pirolisis

Suriyanto⁽¹⁾, Ivenda Sasquea Cakradetha⁽²⁾, Sintha Soraya Santi^{(3)*}
Isni Utami⁽⁴⁾, Sutiyono⁽⁵⁾

Program Studi Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur
Jl. Raya Rungkut Madya, Gunung Anyar, Surabaya, 60294, Indonesia

*Email: sintha.tk@upnjatim.ac.id

Tersedia Online di

<http://www.jurnal.unublitar.ac.id/index.php/briliant>

Sejarah Artikel

Diterima 15 Agustus 2024
Direvisi 19 Agustus 2024
Disetujui 20 Agustus 2024
Dipublikasikan 26 Mei 2025

Keywords:

Bio-Oil, Corn Cob, Pyrolysis

Kata Kunci:

Bio-Oil, Bonggol Jagung, Pirolisis

Corresponding Author:

Name:
Sintha Soraya Santi
Email:
sintha.tk@upnjatim.ac.id

Abstract: *Bio-Oil is a raw material that can be produced through various methods, one of which is the biomass pyrolysis process. Biomass pyrolysis has been extensively studied and has shown promising potential as an alternative fuel due to its lignocellulose content. In Indonesia, corn production reaches 23.1 million tons, resulting in waste in the form of corn cobs. This study employed the fast pyrolysis method to convert corn cobs into Bio-Oil. The pyrolysis process was conducted in a sealed reactor, externally heated to a temperature of 400°C. The corn cobs used as raw material were first crushed and sieved to achieve a uniform particle size of 20 mesh. Subsequently, the corn cobs were placed into the pyrolysis reactor, with residence times varied at 40, 60, 80, 100, and 120 minutes. Upon completion of the pyrolysis process, the resulting products, consisting of Bio-Oil, charcoal, and pyrolysis gas, were separated and analyzed for Bio-Oil yield, density, viscosity, and calorific value. Chemical composition analysis was performed using Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) to identify the main compounds present in the Bio-Oil. The highest yield was obtained with a particle size of 20 mesh and a residence time of 120 minutes, resulting in a yield of 72.4632%, a density of 1.3018 kg/m³, a viscosity of 1.6712 mm²/s, and a calorific value of 6.640 Kcal/kg. GC-MS analysis revealed an acetic acid content of 37.49% and a methyl ester content of 22.19%.*

Abstrak: *Bio-Oil merupakan bahan baku yang dapat diproduksi melalui beberapa cara, salah satunya melalui proses pirolisis biomassa. Pirolisis biomassa telah banyak diteliti dan menunjukkan potensi yang menjanjikan sebagai bahan bakar alternatif karena kandungan lignoselulosa di dalamnya. Di Indonesia, produksi jagung mencapai 23,1 juta ton, menghasilkan limbah berupa bonggol jagung. Penelitian ini menggunakan metode pirolisis cepat untuk mengkonversi bonggol jagung menjadi Bio-Oil. Proses pirolisis dilakukan dalam reaktor tertutup yang dipanaskan secara eksternal hingga suhu 400°C. Bonggol jagung yang digunakan sebagai bahan baku terlebih dahulu*

dihancurkan dan diayak hingga mencapai ukuran partikel yang seragam sebesar 20 mesh. Setelah itu, bonggol jagung dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis, dengan variasi waktu tinggal selama 40, 60, 80, 100, dan 120 menit. Setelah proses pirolisis selesai, produk yang dihasilkan berupa Bio-Oil, arang, dan gas pirolisis dipisahkan dan dianalisis rendemen Bio-Oil, massa jenis, viskositas, dan nilai kalor. Analisis komposisi kimia dilakukan menggunakan Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) untuk mengidentifikasi senyawa utama yang terdapat dalam Bio-Oil. Rendemen tertinggi diperoleh pada ukuran partikel 20 mesh dan waktu tinggal 120 menit, dengan hasil sebesar 72,4632%, massa jenis 1,3018 kg/m³, viskositas 1,6712 mm²/s, dan nilai kalor 6,640 Kkal/kg. Analisis GC-MS menunjukkan kandungan asam asetat sebesar 37,49% dan metil ester sebesar 22,19%.

PENDAHULUAN

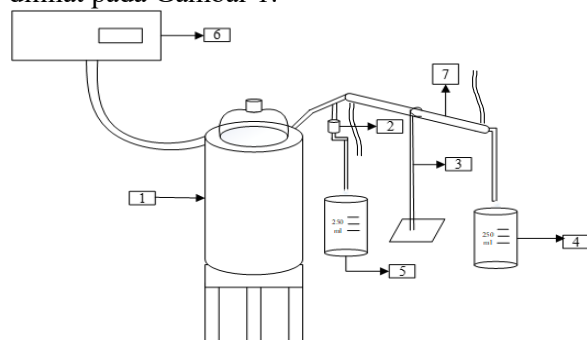
Indonesia merupakan salah satu negara agraris di dunia, di mana peran sektor pertanian dalam perekonomian nasional sangat besar (Siska Diana Lomban et al., 2022). Indonesia juga merupakan negara dengan produksi jagung tertinggi di Asia Tenggara (Syachbudy, 2023). Produksi dan konsumsi jagung di Indonesia menunjukkan tren peningkatan, dengan pertumbuhan produksi sebesar 6,82% setiap tahunnya sejak tahun 1993-2018 dan meningkat sebesar 9,29% pada tahun 2019-2023 (Saputra et al., 2022). Studi regional di Kabupaten Lombok Timur menunjukkan produksi jagung berfluktuasi dari tahun 2010 hingga 2021, dengan prakiraan diperkirakan akan meningkat dari 172.079 ton pada tahun 2022 menjadi 240.799 ton pada tahun 2030 (Ladoni et al., 2023). Jagung yang sudah dipipil menyisakan bonggol jagung yang tidak termanfaatkan yang dapat dianggap sebagai limbah produksi. Diperkirakan dari data FAO bonggol jagung memiliki perbandingan hampir 1:1 dengan jumlah jagung pipil yang diproduksi. Bonggol jagung kerap kali dianggap sebagai limbah pertanian atau biomassa. Bonggol jagung kaya akan kandungan lignoselulosa berupa selulosa sebesar 41%, hemiselulosa sebesar 36%, lignin sebesar 6% dan 17% komponen lain (Kiswanto and Rubianto, 2023). Kandungan dari bonggol jagung ini berpotensi sebagai alternatif *liquid fuel* dari *Bio-Oil* hasil pirolisis.

Bio-Oil merupakan senyawa organik yang memiliki kandungan oksigenat tinggi seperti phenol, alkohol, asam karboksilat, keton dan aldehyd (Kumar et al., 2019). *Bio-Oil* merupakan bahan mentah yang dapat dihasilkan dengan beberapa cara salah satunya dengan proses pirolisis. Produksi *Bio-Oil* melalui pirolisis berbagai sumber biomassa telah banyak diteliti sebelumnya dan menunjukkan hasil yang menjanjikan sebagai bahan bakar alternatif. Pirolisis kulit durian secara lambat pada suhu 250-400°C dan ukuran sampel 10-20 mesh menghasilkan *Bio-Oil* sebesar 60% yang mengandung senyawa fenolik (66,37%) dan komponen organik lainnya (Rahmatullah et al., 2019). Pirolisis cepat serbuk gergaji mahoni pada suhu 550°C menghasilkan *Bio-Oil* dengan nilai kalor 9,28 MJ/kg (Wibowo, 2016). Studi-studi ini menunjukkan bahwa *Bio-Oil* dari berbagai sumber biomassa dapat diproduksi melalui pirolisis, dengan karakteristik yang mirip dengan bahan bakar konvensional. *Bio-Oil* biasanya mengandung asam asetat, fenol, dan komponen mudah terbakar lainnya, menjadikannya alternatif atau bahan tambahan yang potensial untuk alternatif bahan bakar fosil.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini penting untuk mengembangkan metode pemanfaatan limbah pertanian, khususnya bonggol jagung, sebagai bahan baku alternatif dalam produksi bahan bakar cair yang dapat menggantikan atau melengkapi bahan bakar fosil. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan nilai ekonomi dari limbah pertanian tetapi juga mendukung keberlanjutan energi dan mengurangi dampak lingkungan dari limbah pertanian di Indonesia.

METODE

Bahan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah bonggol jagung. Bonggol jagung diperoleh dari Petani Jagung di Desa Kunti, Kecamatan Bungkal, Kabupaten Ponorogo, Jawa Timur. Pada penelitian ini menggunakan rangkaian alat pirolisator yang terdiri atas reactor, jacket pemanas, dan kondensor, sebagai tempat terjadinya proses pirolisis. Rangkaian alat dapat dilihat pada Gambar 1.



Keterangan:

1. Tangki Pirolisis
2. Selang Hasil TAR
3. Statif
4. Beaker Glass Penampung *Bio-Oil*
5. Beaker Glass Penampung Tar
6. Termokopel
7. Kondensor
8. Selang Hasil *Bio-Oil*

Gambar 1. Rangkaian Alat Pirolisis

Prosedur pembuatan *Bio-Oil* dari bonggol jagung yang pertama adalah persiapan bahan baku berupa pencucian, pengeringan, pengecilan ukuran, dan screening. Tahapan ini, limbah bonggol jagung dilakukan pencucian dengan air mengalir. Bonggol jagung yang telah bersih kemudian dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 100°C selama 2 jam untuk mengurangi kadar air yang terdapat di dalam bonggol jagung. Bonggol jagung kemudian dihancurkan dan diayak dengan ukuran 20 mesh untuk memperkecil serta menyeragamkan ukuran agar perambatan panas optimal. Sebanyak 100gram partikel bonggol jagung dengan ukuran 20 mesh dipirolisis. Pirolisis dilakukan menggunakan rangkaian alat pirolisis dengan suhu 400 °C dan waktu tinggal 40, 60, 80, 100, dan 120 menit. Terakhir adalah tahap analisis densitas dengan menggunakan piknometer, viskositas dengan menggunakan viscometer ostwald, *Gas Chromatography–Mass Spectrometry* (GC-MS) dengan menggunakan merek Shimadzu QP 2010 SE, dan Nilai Kalor dengan menggunakan *calorimeter* IKA C200 dari *Bio-Oil* hasil pirolisis bonggol jagung.

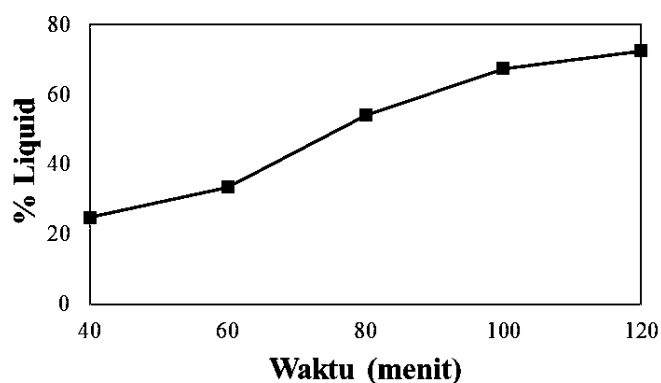
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian mengenai proses untuk menghasilkan *Bio-Oil* dengan metode pirolisis yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh waktu tinggal terhadap yield yang dihasilkan berhasil dilakukan. Perlakuan diawali dengan preparasi bahan baku berupa pengeringan untuk menurunkan kadar air didalamnya serta penyeragaman ukuran. Pirolisis dilakukan pada bahan baku bonggol jagung dengan berat 100gram dan ukuran 20 mesh disetiap variabel waktu. Persentase hasil merupakan hal yang paling utama pada penelitian ini. Persentase hasil dilihat dari jumlah keseluruhan produk mulai dari arang hasil pembakaran, liquid atau *Bio-Oil* serta gas yang terbang. Tabel 1 menunjukkan hasil rendemen *Bio-Oil* bonggol jagung mencapai 72,5% pada ukuran 20 mesh.

Tabel 1. Hasil Analisa Rendemen *Bio-Oil* Bonggol Jagung

Waktu (menit)	<i>Bio-Oil</i> (%)
40	24.7521
60	33.4972
80	54.0557
100	67.4996
120	72.4632

Tabel 1 menunjukan pengaruh waktu tinggal pirolisis terhadap rendemen *Bio-Oil* yang dihasilkan meningkat secara bertahap dari waktu tinggal 40 hingga 120 menit berturut-turut sebesar 24,75%, 33,50%, 54,06%, 57,50%, dan 72,46%. Terlihat bahwa rendemen terbesar eksperimen pada waktu 120 menit sebesar $\pm 72\%$. Terjadi peningkatan rendemen dari waktu 40 menit ke 60 menit sebesar $\pm 8\%$. Peningkatan rendemen mencapai 2-3 kali lipat dimulai pada waktu eksperimen 80 menit.



Gambar 2. Grafik Pengaruh Waktu Tinggal terhadap Rendemen *Bio-Oil*

Berdasarkan Gambar 2 dapat terlihat waktu optimum untuk eksperimen yaitu pada waktu 120 menit. Hal tersebut terlihat peningkatan yang tinggi terhadap waktu 40 menit dengan besar peningkatan rendemen sebesar $\pm 47\%$. Peningkatan rendemen terhadap peningkatan waktu dapat

terjadi karena perambatan panas yang terjadi pada bahan baku lebih baik. Berdasarkan hasil eksperimen rendemen yang dihasilkan pada waktu 100 dan 120 menit memiliki selisih kecil, berdasarkan hal tersebut dapat diperkirakan jika eksperimen dilakukan dengan adanya penambahan waktu akan stagnan terhadap rendemen yang didapatkan. Menurut Rahman (2018) waktu pengontakan panas terhadap suatu bahan yang lebih lama dapat memberikan waktu untuk gas panas untuk masuk kedalam bahan secara menyeluruh yang menyebabkan proses penguapan senyawa dalam bahan terjadi dengan lebih baik.

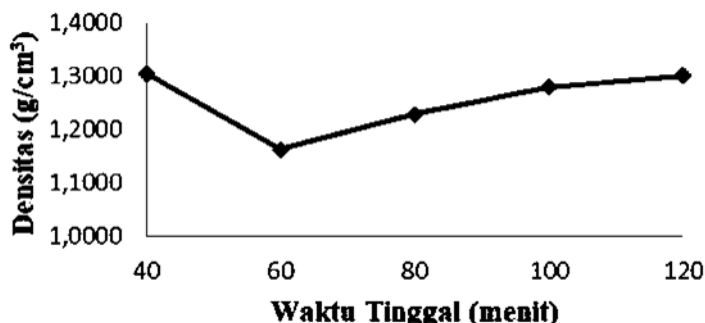
Analisis Densitas dan Viskositas *Bio-Oil* Bonggol Jagung

Pengujian densitas dan viskositas terhadap rendemen dilakukan menggunakan piknometer dan viskometer ostwald. Berdasarkan Tabel 2, densitas dan viskositas yang didapatkan cukup bervariasi. Untuk densitas berkisar diantara 1,1634 – 1,3055 g/cm³. Sedangkan untuk viskositas berkisar pada 1,5569 – 1,68 mm²/s. Bila nilai ini dibandingkan dengan standart yang dikeluarkan oleh *American Society for Testing and Material* (ASTM) dengan kode D 7544-12, hasil ekslerperimen yang didapatkan telah masuk kriteria. Kriteria standart ASTM untuk densitas yaitu berada diantara 1,1-1,3 kg/m³ dan viskositas berada dibawah 125 mm²/s.

Tabel 2. Densitas dan Viskositas *Bio-Oil* Bonggol Jagung

Waktu Tingga (menit)	Densitas (Kg/m ³)	Viskositas (mm ² /s)
40	1.3055	1.6800
60	1.1634	1.6624
80	1.2299	1.5569
100	1.2807	1.7328
120	1.3018	1.6712

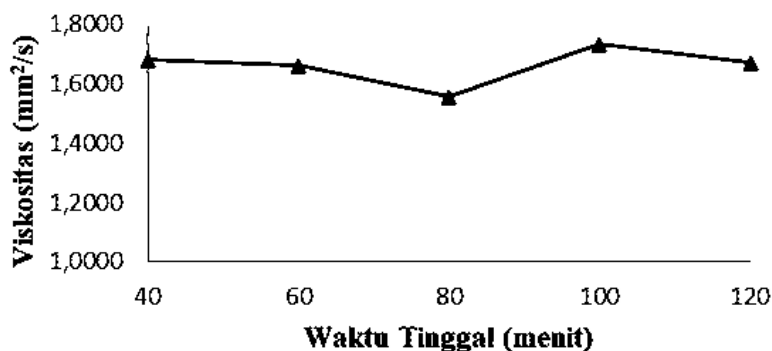
Berdasarkan Gambar 3 di bawah, densitas *Bio-Oil* menunjukkan adanya penurun pada waktu 60 menit dan mulai terjadi peningkata pada waktu 80 sampai 120 menit. Hal ini dapat terjadi karena proses pirolisis berfokus pada pemutusan rantai organik bahan baku yang berupa bonggol jagung. Senyawa yang terkandung di dalam bahan baku berupa senyawa selulosa, hemiselulosa dan lignin. Hal tersebut menyebabkan masing-masing senyawa dapat terkonversi menjadi beberapa senyawa yang berbeda dan tidak menentu. Selulosa dapat terkonversi menjadi beberapa senyawa diantaranya *levoglucosan*, *Glyoxal*, dan *2,3-Dihydroxypropanal*. Banyaknya ragam konversi ini menyebabkan nilai densitas yang berbeda-beda (Kanaujia, 2014). Setiap senyawa memiliki berat molekul yang berbeda-beda. Berat molekul pada *levoglucosan*, *Glyoxal*, dan *2,3-Dihydroxypropanal* secara berturut sebesar 162,14 g/mol ; 90,08 g/mol ; dan 58,1 g/mol (*National Library of Medicine*). Selain itu densitas *Bio-Oil* merupakan densitas campuran yang dipengaruhi oleh fraksi dari setiap senyawa yang terkandung. Untuk densitas campuran sendiri dihitung menggunakan jumlah dari farksi yang dibagi dengan setiap densitas senyawanya (Perry ed 8, 2008).



Gambar 3. Grafik Hubungan Waktu Tingga terhadap Densitas *Bio-Oil* Bonggol Jagung

Berdasarkan Gambar 4 di bawah, viskositas dari *Bio-Oil* bonggol jagung menunjukkan penurunan nilai pada waktu 60,80 serta 120 menit yang tidak terlalu signifikan dan terlihat konstan. Sama halnya dengan densitas, dimana viskositas ini dipengaruhi oleh jenis senyawa dan komposisi senyawa dalam campuran. Secara teori nilai viskositas sendiri dapat dihitung menggunakan nilai senyawa pembanding air berupa viskositas air dikalikan dengan densitas

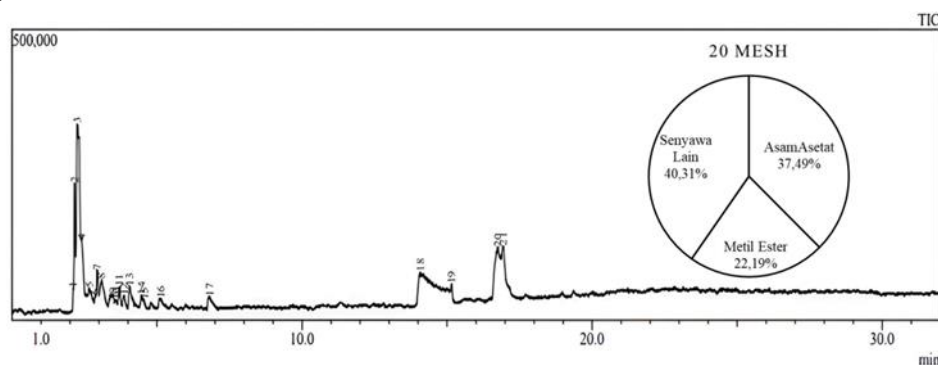
campuran dibagi densitas air (Perry ed 8, 2008). Hal inilah yang menyebabkan viskositas sampel memiliki nilai yang variasi. Senyawa hidrokarbon dngan jumlah rantai yang berbeda memiliki nilai viskositas yang berbeda. Rantai hidrokarbon yang panjang cenderung memiliki viskositas yang lebih tinggi dibandingkan hidrokarbon rantai pendek (Ibadurrohman et al., 2021; Selpiana et al., 2019).



Gambar 4. Grafik Hubungan Waktu Tinggal terhadap Viskositas *Bio-Oil* Bonggol Jagung

Analisis Kandungan *Bio-Oil* Bonggol Jagung

Digunakan GC-MS atau *Gas Chromatografi-Mass Spectrometry* untuk menganalisa kandungan *Bio-Oil* bonggol jagung. Analisa GC-MS sendiri menggunakan Shimadzu QP 2010 SE dan merupakan metode pengujian yang dilakukan untuk mengetahui senyawa apa saja yang terkandung dalam *Bio-Oil* dari bonggol jagung. Pengujian GC-MS dilakukan pada titik yang menghasilkan jumlah yield terbesar yaitu pada waktu 120 menit. Hasil pengujian GC-MS dapat dilihat pada Gambar 5 dan Tabel 3 di bawah.



Gambar 5. Kromatogram GC dan komposisi relatif *Bio-Oil* bonggol jagung pada waktu tinggal 120 menit.

Pada Gambar 5 menunjukkan bahwa sampel memiliki kandungan asam asetat yang mendominasi yaitu sebesar 37,49%. Asam asetat merupakan senyawa organik yang dapat digunakan sebagai sumber energi dalam berbagai aplikasi. Dalam proses pembuatan biogas, asam asetat dihasilkan melalui fermentasi asetogenesis menggunakan bahan baku seperti bungkil kopi (Iriani & Ambriani, 2020). Asam asetat juga dapat digunakan dalam produksi metil asetat melalui reaksi esterifikasi dengan metanol (Hapsari and Wibowo, 2023). *Bio-Oil* yang dihasilkan biasanya mengandung oksigen dan tingkat keasaman yang tinggi, dibuktikan dengan adanya asam organik seperti asam asetat dan fenol (Jenita et al., 2019; Muzdalifah et al., 2020). Kandungan asam asetat dan senyawa lain seperti fenol menyebabkan *Bio-Oil* bersifat asam dan korosif (Dewayanto and Nordin, 2016). Berdasarkan Gambar 4 juga terlihat keberadaan senyawa metil ester sebesar 22,9%. Metil ester berperan penting dalam menentukan kualitas bahan bakar, khususnya sebagai bahan bakar alternatif pengganti solar (Pupu et al., 2024). Metil ester biasanya diproduksi melalui esterifikasi atau transesterifikasi minyak nabati, seperti minyak sawit mentah, minyak kepayang, dan minyak jagung (Amelyanti et al., 2023; Sitorus et al., 2023). Selain kedua senyawa tersebut terdapat pula beberapa senyawa lainnya seperti *fenol*, *2-Propanone (CAS) Acetone*, *Butanoic acid*, dan senyawa asam lain (Tabel 3).

Tabel 3. Komposisi Senyawa Kimia *Bio-Oil* Bonggol Jagung pada Waktu Tenggat 120 menit

Peak	R.Time	Percentage %	Component	Formula
1	2.115	1.23	BICYCLO [2.2.1] HEPTANE,-5-(ETHYL-1-AMINE)	C ₉ H ₁₇ N
2	2.16	9.26	2-Propanone (CAS) Acetone	C ₃ H ₆ O
3	2.251	37.49	Acetic acid (CAS) Ethylic acid	C ₂ H ₄ O ₂
4	2.405	8.41	Propane, 2-methyl-1-propoxy- (CAS) Ether, isobutyl propyl	C ₇ H ₁₆ O
5	2.672	1.08	Butanoic acid (CAS) n-Butyric acid	C ₄ H ₈ O ₂
6	2.875	0.42	Pyridine, 2-methyl- (CAS) 2-Methylpyridine	C ₆ H ₇ N
7	2.943	3.23	1H-Pyrazole, 3,5-dimethyl- (CAS) 3,5-Dimethylpyrazole	C ₅ H ₈ N ₂
8	3.083	4.27	cis-1,2-Diacetoxycyclohexane	C ₁₀ H ₁₆ O ₄
9	3.486	2.96	2(3H)-Furanone, dihydro- (CAS) Butyrolactone	C ₄ H ₆ O ₂
10	3.595	0.68	Pyridine, 2,3-dimethyl- (CAS) 2,3-Dimethylpyridine	C ₇ H ₉ N
11	3.704	2.51	1,3-Dioxolan-2-one, 4-methyl- (CAS) Propylene carbonate	C ₄ H ₆ O ₃
12	3.866	1.61	2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl- (CAS) 3-Methyl-2-cyclopentenone	C ₆ H ₈ O
13	4.054	2.59	Phenol (CAS) Iza	C ₆ H ₆ O
14	4.468	0.62	2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl- (CAS) Corylon	C ₆ H ₈ O ₂
15	4.565	0.45	2,3-Dimethyl-2-cyclopenten-1-one	C ₇ H ₁₀ O
16	5.14	0.99	Phenol, 2-methyl- (CAS) o-Cresol	C ₇ H ₈ O
17	6.81	2.43	2-Propenoic acid, 2-methyl-, ethyl ester (CAS) Ethyl methacrylate	C ₆ H ₁₀ O ₂
18	14.084	2.02	Hexadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl palmitate	C ₁₇ H ₃₄ O ₂
19	15.156	0.82	Hexadecanoic acid, 15-methyl-, methyl ester (CAS) METHYL-15-METHYL HEXADECANOATE	C ₁₈ H ₃₆ O ₂
20	16.75	9.89	9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester (CAS) Methyl oleate	C ₁₉ H ₃₆ O ₂
21	16.94	7.03	17-Octadecenoic acid, methyl ester (CAS) METHYL OCTADEC-17-ENOATE	C ₁₉ H ₃₆ O ₂

Berdasarkan hasil GC-MS pada Tabel 3 di atas dapat diketahui *Bio-Oil* dari bonggol jagung mengandung senyawa-senyawa kimia diantaranya asam asetat, *Propanon*, *fenol*, *Hexadecanoic acid*, *Benzen*, *Octadecanoic* dll. Kandungan *Bio-Oil* bonggol jagung yang diperoleh tersebut memiliki kesamaan dengan *Bio-Oil* dari tandan kosong kelapa sawit dan serbuk gergaji kayu sengon (Wibowo, 2016; Wicakso et al., 2021). Senyawa-senyawa tersebut merupakan perekaan dari lignoselulosa yang terdapat di dalam bonggol jagung, seperti asam asetat yang merupakan salah satu perekaan dari hemiselulosa dan fenol merupakan perekaan dari lignin (Kanaujia et al., 2014). Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa konversi yang terjadi pada selulosa, hemiselulosa dan lignin dapat terkonversi secara acak dan tidak menentu.

Analisis Standar *Bio-Oil*

Tabel 4. Perbandingan *Bio-Oil* Bonggol Jagung dengan ASTM D 7544-12

Karakteristik	ASTM D 7544-12	<i>Bio-Oil</i> Bonggol Jagung
Viskositas, mm ² /s	< 125	1.5569 – 1.68
Densitas, kg/ m ³	1.1 – 1.3	1.1634 – 1.3055
Nilai Kalor, MJ/Kg	> 15.0	27.78

Tabel 4 menunjukkan perbandingan *Bio-Oil* bonggol jagung dengan nilai standar *dio-oil* yang ditetapkan oleh American Society for Testing and Materials (ASTM) D 7544-12. Nilai viskositas sampel percobaan dibandingkan dengan nilai standar ASTM yang memenuhi kriteria, di mana *Bio-Oil* memiliki nilai viskositas 1,5569 – 1,68 mm²/s sedangkan standar ASTM di bawah 125 mm²/s. Selain itu, densitas sampel percobaan dibandingkan dengan nilai standar ASTM telah memenuhi. Dimana kriteria batas densitas *Bio-Oil* menurut ASTM D 7544-12 berkisar 1,1-1,3 kg/ m³ dan densitas *Bio-Oil* bonggol jagung yang diperoleh berkisar 1,1634 – 1,3055 kg/m³. Terakhir, nilai kalor eksperimen di atas standar ASTM yaitu 27,78 MJ/Kg sedangkan nilai standar sebesar lebih dari 15 MJ/Kg. Ketiga ciri tersebut menunjukkan bahwa *Bio-Oil* yang dihasilkan sudah memenuhi standar *Bio-Oil* mentah, yang menunjukkan bahwa eksperimen dengan *Bio-Oil* yang berasal dari proses pirolisis telah berhasil.

SIMPULAN

Sintesis *Bio-Oil* dari bonggol jagung dengan proses pirolisis diperoleh hasil terbaik pada ukuran 20 mesh dengan waktu 120 menit. Pada kondisi tersebut diperoleh yield *Bio-Oil* sebesar 72,5% dengan karakteristik densitas sebesar 1,3018 kg/m³, viskositas sebesar 1,6712 mm²/s, dan nilai kalor sebesar 6,640 Kkal/kg. Selain itu, pada kondisi tersebut kandungan asam asetat sebesar 37,49% dan kandungan metil ester sebesar 22,19%.

DAFTAR RUJUKAN

- Amelyanti, E., Usman, T., & Rahmalia, W. (2023). Determination of Optimum Conditions for Synthesis of Methyl Ester from Bleached Crude Palm Oil Using Sn-Zeolite and Red Mud Catalysts. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 20(2), 267–279. <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v20i2.267-279>
- Dewayanto, N., & Nordin, M. R. (2016). Catalytic Pyrolysis of Biomass to Synthesize Bio-Oil and Chemicals: A Review. *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia*, 2(1), 29. <https://doi.org/10.26555/chemica.v2i1.4566>
- Hapsari, N. A. P., & Wibowo, A. A. (2023). Studi Kasus Simulasi Reaktor Equilibrium Pada Produksi Metil Asetat Menggunakan Software Chemcad. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 6(2), 49–55. <https://doi.org/10.33795/distilat.v6i2.74>
- Ibadurrohman, I. A., Hamidi, N., & Yulianti, L. (2021). Pengaruh Panjang Rantai Karbon dan Derajat Ketidakteraturan terhadap Karakteristik Pembakaran Droplet Asam Lemak Tunggal. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 12(2), 331–347. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2021.012.02.11>
- Iriani, P., & Ambriani, P. (2020). Analisis Hasil Asetogenesis Bungkil Kopi Pada Sistem Biodigester Anaerob Dua Tahap. *Jurnal Teknik Energi*, 4(2), 317–321. <https://doi.org/10.35313/energi.v4i2.1746>
- Jenita, J., Abrina Anggraini, S. P., Yuniningsih, S., & Kimia, T. (2019). Pembuatan Asap Cair dari Tempurung Kelapa, Tongkol Jagung, dan Bambu Menggunakan Proses Slow Pyrolysis. *Jurnal Penelitian Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 3(1), 42-49. <https://publikasi.unitri.ac.id/index.php/teknik>
- Kanaujia, P. K., Sharma, Y. K., Garg, M. O., Tripathi, D., & Singh, R. (2014). Review Of Analytical Strategies In The Production And Upgrading Of Bio-Oils Derived From Lignocellulosic Biomass. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 105, 55–74. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2013.10.004>
- Kiswanto, C. M. J., & Rubianto, L. (2023). Pengaruh Waktu Fermentasi Dan Konsentrasi H₂SO₄ Terhadap Kadar Glukosa Pada Pembuatan Bioetanol Dari Tongkol Jagung. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 8(4), 765–770. <https://doi.org/10.33795/distilat.v8i4.452>
- Kumar, R., Strezov, V., Lovell, E., Kan, T., Weldekidan, H., He, J., Dastjerdi, B., & Scott, J. (2019). Bio-Oil Upgrading With Catalytic Pyrolysis Of Biomass Using Copper/Zeolite-Nickel/Zeolite And Copper-Nickel/Zeolite Catalysts. *Bioresource Technology*, 279, 404–409. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.01.067>
- Ladoni, R., Sjah, T., & Ibrahim, I. (2023). Analisis Perkembangan Produksi Jagung Di Kabupaten Lombok Timur. *AGROTEKSOS*, 33(1), 157. <https://doi.org/10.29303/agroteksos.v33i1.816>

- Lomban, S. D., Sahara, & Azijah, Z. (2022). Dampak Covid-19 Terhadap Kinerja Ekspor Dan Impor Sektor Pertanian Indonesia: Pendekatan Analisis Input Output. *Buletin Ilmiah Litbang Perdagangan*, 16(2), 167-184. <https://doi.org/10.55981/bilp.2022.11>
- Muzdalifah, M., Syarif, T., & Aladin, A. (2020). Potensi Pemanfaatan Limbah Biomassa Serbuk Gergaji Kayu Besi (*Eusideroxylon Zwageri*) Menjadi Asap Cair Melalui Proses Pirolisis. *ILTEK : Jurnal Teknologi*, 15(2), 78–81. <https://doi.org/10.47398/iltek.v15i2.523>
- Perry. (2008). *Perry's Chemical Engineers' handbook*, 8th edition, McGrawHill Companies, Inc., United State. DOI: 10.1036/0071422943
- Pupu, A., Yuliana Sari, D., Ade Maya, M., Ragil, M., Agil Soeharja, M., & Teknologi Adhi Tama Surabaya, I. (2024). Review Kandungan Metil Ester Dalam Biodiesel Generasi Ke-3 Mikroalga Dan Penggunaan Katalis. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan IV (SENASTITAN IV)* Surabaya.
- Rahman, M., Liu, R., & Cai, J. (2018). Catalytic Fast Pyrolysis Of Biomass Over Zeolites For High Quality Bio-Oil – A Review. *Fuel Processing Technology*, 180, 32–46. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2018.08.002>
- Rahmatullah, Putri. R. W., & Nurisman. E. (2019). Produksi Bio-Oil Dari Limbah Kulit Durian Dengan Proses Pirolisis Lambat. *Jurnal Teknik Kimia*, 25(2), 50–53. <https://doi.org/10.36706/jtk.v25i2.425>
- Saputra, D., Erlina, Y., & Barbara, B. (2022). Analisis Trend Produksi Dan Konsumsi Jagung Pipilan Di Indonesia. *JOURNAL SOCIO ECONOMICS AGRICULTURAL*, 17(1), 30–46. <https://doi.org/10.52850/jsea.v17i1.4340>
- Selpiana, S., Susmanto, P., Cundari, L., Putri, R. W., Ibrahim, O., & Oktari, D. (2019). Konversi Limbah Plastik Jenis Expanded Polystyrene Menjadi Bahan Bakar Cair Dengan Proses Perengkahan Katalitik. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, 30(2), 123-128 <https://doi.org/10.28959/jdpi.v30i2.5592>
- Sitorus, I. P. B., Meriatna, M., Masrullita, M., Jalaluddin, J., & Nurlaila, R. (2023). Karakterisasi Metil Ester Dari Minyak Kepayang (*Pangium Edule Reinw*) Melalui Proses Transesterifikasi Menggunakan Katalis Kulit Jengkol (*Archidendron Pauciflorum*). *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, 3(6), 829. <https://doi.org/10.29103/cejs.v3i6.11968>
- Syachbudy, Q. Q. (2023). Tata Kelola Rantai Nilai Komoditas Jagung Di Provinsi Gorontalo. *Mimbar Agribisnis : Jurnal Pemikiran Masyarakat Ilmiah Berwawasan Agribisnis*, 9(1), 291. <https://doi.org/10.25157/ma.v9i1.8384>
- Wibowo, S. (2016). Karakteristik Bio-Oil Dari Limbah Industri Hasil Hutan Menggunakan Pirolisis Cepat. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 34(1), 61–67. <https://doi.org/10.20886/jphh.2016.34.1.61-76>
- Wicakso, D. R., Lestari, R. A., Maulana, R., Andriya, D., Yani, J. A., 36 Banjarbaru, K. M., & Selatan, K. (2021). Pengaruh Suhu Pada Proses Catalytic Cracking Untuk Up Grading Bio-Oil Dari Hasil Pirolisis Tandan Kosong Sawit (TKS) Dengan Katalisator Lempung Gambut. *Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah (Vol. 6)*.