



Pengaruh Perbandingan Komposisi Ampas Tebu dan Kulit Durian Terhadap Karakteristik *Bio-oil*

The Effect of Composition Ratio of Bagasse and Durian Peel on Bio-oil Characteristics

Iriany*, Maulisa, Salsabila, Taslim

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Jl. Dr. T. Mansur, No. 9, Medan Selayang, 20155, Indonesia

*Email: iriany@usu.ac.id

Article history:

Diterima : 29 April 2024
Direvisi : 11 Februari 2025
Disetujui : 8 Mei 2025
Mulai online : 27 September 2025

E-ISSN: 2337-4888

How to cite:

Iriany, Maulisa, Salsabila, Taslim. (2025). Pengaruh Perbandingan Komposisi Ampas Tebu dan Kulit Durian Terhadap Karakteristik *Bio-oil*. Jurnal Teknik Kimia USU, 14(2), 57-64.

ABSTRAK

Bio-oil ampas tebu memiliki karakteristik fisik yang cukup buruk sehingga memerlukan kombinasi bahan lain yaitu kulit durian. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan *bio-oil* yang berkualitas dari perbandingan komposisi terbaik ampas tebu dan kulit durian. Penelitian ini menggunakan variasi komposisi ampas tebu dan kulit durian (0:1; 1:0; 1:1; 2:1; 3:1) pada suhu pirolisis 400 °C selama 5; 6; 7 jam menggunakan reaktor berbentuk silinder tegak berukuran 83,1 L. *Bio-oil* yang memiliki karakteristik terbaik yaitu rasio 1:1 dengan rendemen sebesar 32,28; 38,82; 40,8%, pH sebesar 2,7; 2,8; 2,9 dan viskositas sebesar 0,952 cSt; 0,928 cSt; 0,908 cSt. Berdasarkan hasil yang diperoleh terbukti bahwasanya penambahan kulit durian meningkatkan karakteristik *bio-oil*.

Kata kunci: ampas tebu, biomassa, *bio-oil*, kulit durian, pirolisis

ABSTRACT

The *bio-oil* from bagasse has poor physical characteristics, so it requires a combination with other materials, such as durian peel. This study aims to produce high-quality *bio-oil* from the best composition ratio of bagasse and durian peel. The study used variations of sugarcane bagasse and durian peel compositions (0:1; 1:0; 1:1; 2:1; 3:1) at a pyrolysis temperature of 400 °C for 5, 6, and 7 hours using an 83.1 L upright cylindrical reactor. The *bio-oil* with the best characteristics was found at a 1:1 ratio, with yields of 32.28%, 38.82%, and 40.8%, pH values of 2.7; 2.8; 2.9, and viscosities of 0.952 cSt, 0.928 cSt, and 0.908 cSt. The results show that adding durian peel improves the *bio-oil* characteristics.

Keyword: bagasse, biomass, *bio-oil*, durian peel, pyrolysis



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International.
<https://doi.org/10.32734/jtk.v14i2.16294>

1. Pendahuluan

Limbah ampas tebu di Indonesia sangat melimpah karena banyaknya pabrik gula tebu [1]. Terdapat 62 pabrik gula di Indonesia yang menghasilkan sekitar 32 juta ton tebu sehingga diperoleh sekitar 9 juta ton ampas tebu [2]. Sekitar 50% ampas tebu digunakan sebagai bahan bakar alat operasi pada perusahaan seperti boiler dan sebagian lagi ditimbun sebagai buangan sehingga memiliki nilai jual yang rendah dan dapat mengakibatkan berbagai masalah seperti mudah terbakar, tidak adanya tempat menanamnya serta tercemarnya lingkungan sekitar [1].

Memproduksi *bio-oil* merupakan cara untuk menghasilkan energi terbarukan yang berasal dari biomassa seperti limbah ampas tebu menggunakan proses pirolisis menjadi bahan bakar alternatif. *Bio-oil* merupakan salah satu bahan bakar alternatif berbentuk cairan yang berwarna gelap, memiliki aroma seperti asap dan mempunyai nilai kalor yang lebih besar dibandingkan bahan bakar oksigenasi lainnya [3]. Pirolisis merupakan

proses termokimia selulosa dan lignin yang terdekomposisi sehingga tidak memerlukan oksigen dalam prosesnya untuk menghasilkan produk [4]. Dalam pembuatan *bio-oil*, karakteristik fisik seperti pH, densitas, viskositas kinematik, nilai kalor, bilangan asam dan kadar air merupakan faktor-faktor yang perlu diperhatikan. Parameter tersebut memiliki pengaruh langsung pada performa mesin. *Bio-oil* dengan karakteristik buruk dapat mengakibatkan kerusakan pada mesin. Pembakaran yang terjadi tidak akan sempurna jika nilai viskositas *bio-oil* tidak memenuhi standar, hal ini terjadi karena atomisasi bahan bakar dan udara menjadi kurang baik. *Bio-oil* dengan viskositas rendah akan mudah mengalir. Namun, apabila viskositas *bio-oil* terlalu tinggi akan menyebabkan kebocoran pada pompa injeksi bahan bakar. Kualitas *bio-oil* dapat dilihat dari nilai kalornya [5]. Berdasarkan penelitian sebelumnya, penggunaan bahan baku ampas tebu menjadi *bio-oil* memiliki karakteristik yang cukup rendah dengan nilai kalor sebesar 9,31-10,81 MJ/kg serta viskositas sebesar 1,4-1,8 cP [3]. Adapun penelitian lain menyebutkan bahwa penggunaan kulit durian menjadi *bio-oil* memiliki karakteristik yang cukup tinggi dengan nilai kalor sebesar 26,7-29,8 MJ/kg serta viskositas sebesar 1,189 cP [4]. Untuk penggunaan bahan baku lain seperti sekam padi menjadi *bio-oil* memiliki karakteristik dengan nilai kalor sebesar 0,038-0,039 MJ/kg serta viskositas sebesar 5,61-3,42 cP [6]. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa baik *bio-oil* dari ampas tebu atau kulit durian memiliki perbandingan nilai kalor dan viskositas yang cukup jauh sehingga diharapkan dengan mencampurkan kedua bahan tersebut dapat meningkatkan karakteristik dari *bio-oil*. Sementara itu, *bio-oil* pada sekam padi memiliki nilai kalor sangat rendah dan viskositas cukup tinggi dibandingkan dengan *bio-oil* dari ampas tebu dan kulit durian. Oleh karena itu, dengan menambahkan kulit durian diharapkan dapat memperbaiki karakteristik *bio-oil* ampas tebu.

2. Metode

Bahan dan Peralatan

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah ampas tebu yang diperoleh dari penjual es tebu kaki lima dan kulit durian yang diperoleh dari Uco Durian Medan. Peralatan yang digunakan yaitu rangkaian peralatan pirolisis terlihat pada Gambar 1.



Keterangan: (1) *Control panel*, (2) Tabung gas nitrogen (0,5m³), (3) Kondenser (r = 2,5 cm; h = 122 cm), (4) Reaktor pirolisis (r = 21 cm; h = 60 cm), (5) Pompa (p = 180 cm), (6) Wadah air pendingin (0,19 L), (7) Wadah penampung *bio-oil* (48,3 L)

Gambar 1. Unit rangkaian peralatan proses pirolisis

Prosedur Kerja

Preparasi Bahan Baku

Prosedur preparasi bahan baku merujuk pada penelitian terdahulu dengan modifikasi waktu dan suhu pengeringan pada penelitian terdahulu [7] dengan modifikasi waktu dan suhu pengeringan pada oven. Bahan baku berupa ampas tebu dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 125 °C selama 5 jam. Kulit durian dicacah lalu dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 100 °C selama 20 jam. Dilakukan pengukuran kadar air sehingga didapat nilai rata-rata kadar air ampas tebu sebesar 61,13% dan kulit durian sebesar 86,67%.

Kemudian ampas tebu dan kulit durian dihaluskan menggunakan *ball mill* dan diayak menggunakan ayakan mesh 50 dan ditimbang sesuai rasio ampas tebu dan kulit durian (T/D) yaitu 0:1; 1:0; 1:1; 2:1; dan 3:1.

Pembuatan *Bio-oil*

Sampel disiapkan sebanyak 500 gram dengan rasio T/D ke dalam reaktor pirolisis kemudian dipirolisis pada suhu 400 °C selama 5, 6 dan 7 jam. Hasil pirolisis kemudian disaring menggunakan kertas saring Whatman no. 40. Hasil saringan berupa *bio-oil* ditampung pada wadah penampung.

Analisis Data

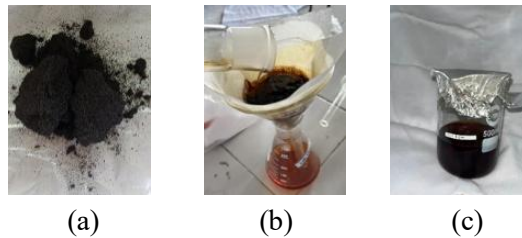
Bio-oil yang dihasilkan untuk dihitung rendemennya dengan persamaan (1). Derajat keasaman *bio-oil* dianalisis menggunakan *Mediatech* pH meter digital B1900124. Densitas *bio-oil* dianalisis menggunakan piknometer 10 mL. Kadar air *bio-oil* dianalisis menggunakan *Aquamax Karl Fischer Coloumetric* mengikuti standar ASTM D6304. Viskositas *bio-oil* dianalisis menggunakan *Viscosimeter Ostwald*. Analisis titik nyala *bio-oil* dilakukan dengan menggunakan *Petrotest Pensky-Martens Closed Cup* mengikuti standar ASTM D93. Kemudian, *Parr Bomb Calorimeter* tipe 6100 digunakan untuk menganalisis nilai kalor *bio-oil*. Lokasi analisis dilakukan di Laboratorium Operasi Teknik Kimia USU, Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin USU dan Pertamina Belawan.

$$\text{Rendemen } \textit{bio-oil} = \frac{\text{berat } \textit{bio-oil}}{\text{berat biomassa masuk reaktor}} \times 100\% \quad (1)$$

3. Hasil

Produk Pirolisis

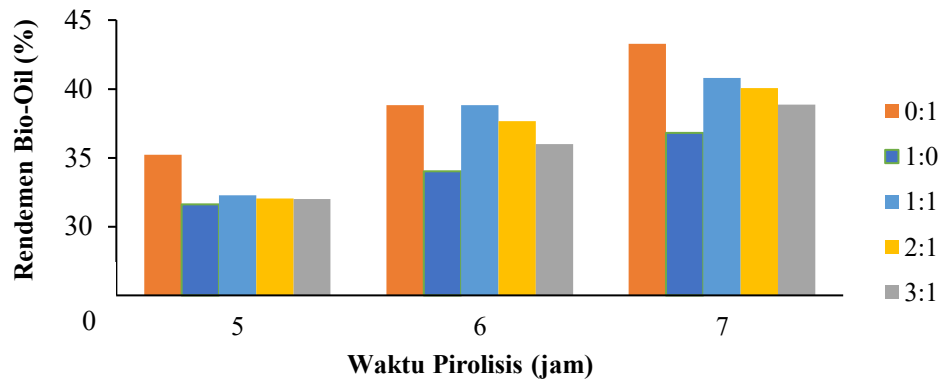
Secara umum *bio-oil* merupakan suatu cairan berwarna coklat gelap, tetapi warna *bio-oil* yang dihasilkan tergantung dari biomassa yang digunakan atau komposisi yang terkandung dalam biomassa tersebut. *Bio-oil* memiliki bau yang sangat khas berupa campuran asap, asam dan kayu [7]. Hasil pirolisis dengan rasio T/D terdiri dari arang, gas, dan campuran *bio-oil* dengan tar. *Bio-oil* yang dihasilkan berwarna merah gelap dan beraroma seperti asap. Adapun produk pirolisis yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Produk pirolisis (a) Arang, (b) Campuran *bio-oil* dan tar, (c) *Bio-oil*

Pengaruh Waktu Pirolisis dan Komposisi Ampas Tebu dan Kulit Durian terhadap Rendemen *Bio-oil*

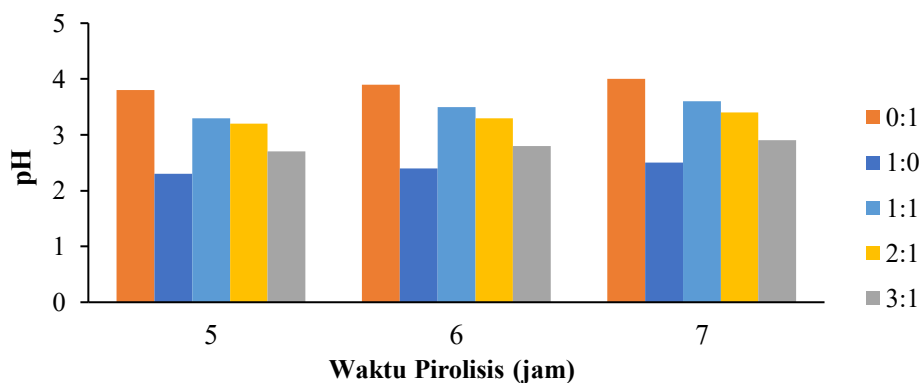
Pengaruh waktu pirolisis dan komposisi ampas tebu dan kulit durian terhadap rendemen *bio-oil* dapat dilihat pada Gambar 3. Rendemen *bio-oil* meningkat seiring bertambahnya waktu pirolisis, hal ini karena bahan baku semakin lama kontak dengan panas sehingga terdekomposisi semakin banyak. Selain itu, rendemen *bio-oil* tergantung pada kandungan selulosa bahan baku, semakin tinggi kandungan selulosa pada bahan baku maka semakin tinggi rendemen yang dihasilkan [8]. Berdasarkan Gambar 3, pada waktu pirolisis 5,6 dan 7 jam, rendemen *bio-oil* kulit durian sebesar 35,2%; 38,82%; 43,26% dan rendemen *bio-oil* ampas tebu sebesar 31,62%; 34,02%; 36,80%. Terlihat bahwa rendemen *bio-oil* dari kulit durian lebih tinggi daripada ampas tebu. Rendemen *bio-oil* pada waktu 7 jam dan rasio T/D 1:1, 2:1, dan 3:1 masing-masing 40,80%; 40,04; dan 38,84%. Seiring dengan meningkatnya komposisi ampas tebu pada bahan baku, rendemen *bio-oil* semakin menurun karena kandungan selulosa pada ampas tebu sebesar 35,01% [9] sedangkan kandungan selulosa pada kulit durian sebesar 60,5% [10]. Hal ini yang menyebabkan rendemen *bio-oil* ampas tebu lebih sedikit dibanding *bio-oil* dari kulit durian dan rendemen *bio-oil* yang semakin menurun seiring dengan meningkatnya komposisi ampas tebu pada campuran bahan baku. Rendemen *bio-oil* berbanding lurus dengan waktu pirolisis dan komposisi kulit durian pada campuran bahan baku.



Gambar 3. Pengaruh waktu pirolisis dan komposisi ampas tebu dan kulit durian terhadap rendemen *bio-oil* pada berbagai rasio T/D

Pengaruh Waktu Pirolisis dan Komposisi Ampas Tebu dan Kulit Durian terhadap pH *Bio-oil*

Pengaruh waktu pirolisis dan komposisi antara ampas tebu dengan kulit durian terhadap pH *bio-oil* dapat dilihat pada Gambar 4. Kandungan asam yang terlalu tinggi akan menyebabkan *bio-oil* bersifat korosif. Semakin rendah angka keasaman *bio-oil* maka menandakan kandungan senyawa asam di dalam *bio-oil* itu semakin rendah pula, angka keasaman yang semakin rendah menandakan kualitas *bio-oil* semakin baik [11]. Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat bahwa pH meningkat seiring dengan bertambahnya waktu pirolisis. Pada waktu 5 jam, pH *bio-oil* dengan rasio T/D 0:1, 1:0, 1:1, 2:1, 3:1 sebesar 2,3-3,3. Begitu pula yang terjadi pada waktu 6 jam dan 7 jam, pH *bio-oil* semakin meningkat seiring bertambahnya waktu. Hal ini disebabkan semakin tingginya suhu dan lamanya waktu pirolisis, konversi selulosa, hemiselulosa dan lignin yang ada di dalam bahan baku menjadi lebih besar sehingga menghasilkan senyawa asam dan fenol yang lebih banyak. Tingginya kandungan asam dan fenol akan menyebabkan nilai pH semakin kecil [12]. Seiring dengan meningkatnya komposisi ampas tebu pada *bio-oil*, pH semakin menurun. Karena pH *bio-oil* kulit durian lebih tinggi dibandingkan pH *bio-oil* ampas tebu. Pada penelitian yang lain, *bio-oil* dari ampas tebu memiliki pH sekitar 2,4-2,7 [3] dan *bio-oil* dari kulit durian memiliki pH sekitar 6 [4].

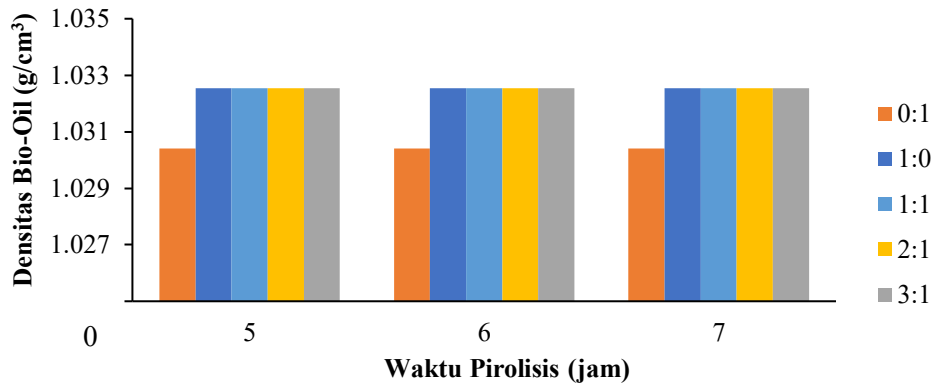


Gambar 4. Pengaruh waktu pirolisis dan komposisi ampas tebu dan kulit durian terhadap ph *bio-oil* pada berbagai rasio t/d

Pengaruh Waktu Pirolisis dan Komposisi Ampas Tebu dan Kulit Durian terhadap Densitas *Bio-oil*

Pengaruh waktu pirolisis dan komposisi antara ampas tebu dengan kulit durian terhadap densitas *bio-oil* dapat dilihat pada Gambar 5. Pada penelitian sebelumnya, *bio-oil* dari ampas tebu memiliki densitas sekitar 1,06-1,08 g/cm³ [3] dan *bio-oil* dari kulit durian memiliki densitas sekitar 1,031 g/cm³ [4]. Densitas *bio-oil* sebagai bahan bakar sesuai ASTM D7544 sebesar 1,1-1,2 g/cm³, sedangkan densitas *bio-oil* pada penelitian ini lebih rendah hanya sebesar 1,0304-1,0325 g/cm³. Terlihat bahwa densitas *bio-oil* konstan terhadap peningkatan waktu pirolisis. Berdasarkan Gambar 5, densitas *bio-oil* kulit durian lebih rendah daripada *bio-oil* lain yaitu sebesar 1,0304 g/cm³ sedangkan *bio-oil* ampas tebu memiliki densitas 1,0325 g/cm³. Tidak seperti rendemen *bio-oil* yang semakin meningkat seiring tingginya selulosa pada bahan baku, densitas *bio-oil* semakin menurun seiring tingginya selulosa pada bahan baku-. Hal ini menjelaskan densitas *bio-oil* kulit durian lebih rendah daripada *bio-oil* lain karena kulit durian mengandung selulosa lebih tinggi daripada ampas tebu.

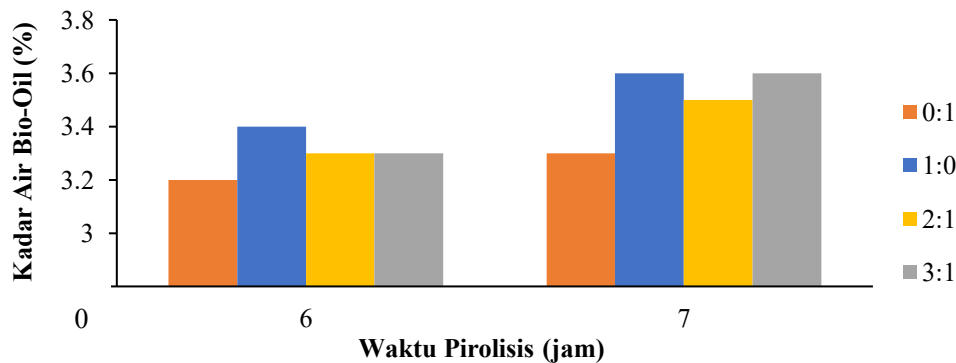
Hal ini menunjukkan bahwa penambahan kulit durian tidak berpengaruh terhadap densitas *bio-oil* sehingga *bio-oil* yang dihasilkan seragam pada rasio T/D 0:1, 1:0, 1:1, 2:1, 3:1. Waktu pirolisis dan kulit durian pada komposisi bahan baku tidak memiliki pengaruh terhadap densitas *bio-oil*. Agar densitas *bio-oil* meningkat dan sesuai dengan ASTM D7544 dapat digunakan *oil bath* untuk menguapkan kadar air dan senyawa cair dari *bio-oil*.



Gambar 5. Pengaruh waktu pirolisis dan komposisi antara ampas tebu dengan kulit durian terhadap densitas *bio-oil* pada berbagai rasio T/D

Pengaruh Waktu Pirolisis dan Komposisi Ampas Tebu dan Kulit Durian terhadap Kadar Air *Bio-oil*

Pengaruh waktu pirolisis dan komposisi antara ampas tebu dengan kulit durian terhadap kadar air *bio-oil* dapat dilihat pada Gambar 6. Pengujian dilakukan dengan menggunakan sampel terbaik pada variasi waktu 6 dan 7 jam. Air yang terdapat pada *bio-oil* disebabkan oleh kadar air pada bahan baku dan reaksi dehidrasi selama proses pirolisis. Waktu pirolisis singkat memungkinkan terjadinya penghambatan reaksi dehidrasi sekunder menyebabkan pengurangan kadar air pada *bio-oil* [13]. Terlihat bahwa kadar air pada *bio-oil* meningkat seiring bertambahnya waktu pirolisis. Pada Gambar 6 kadar air pada *bio-oil* meningkat seiring bertambahnya ampas tebu pada komposisi bahan baku *bio-oil*. Kulit durian kehilangan kadar air yang lebih tinggi daripada ampas tebu sehingga semakin tinggi komposisi ampas tebu maka semakin tinggi kadar air pada *bio-oil*. Pada gambar 6, kadar air *bio-oil* pada penelitian ini sebesar 3,2%-3,6%. Standar kadar air pada *bio-oil* menurut ASTM D7544 maksimal 30%. Pada standar kadar air, *bio-oil* pada penelitian ini memenuhi standar sebagai bahan bakar.

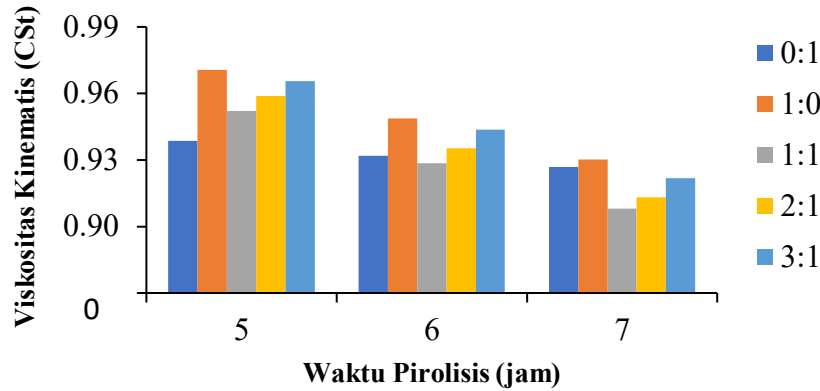


Gambar 6 Pengaruh waktu pirolisis dan komposisi antara ampas tebu dengan kulit durian terhadap kadar air *bio-oil* pada berbagai rasio T/D

Pengaruh Waktu Pirolisis dan Komposisi Ampas Tebu dan Kulit Durian terhadap Viskositas *Bio-oil*

Gambar 7 menunjukkan pengaruh waktu pirolisis dan komposisi antara ampas tebu dengan kulit durian terhadap viskositas *bio-oil*. Berdasarkan penelitian sebelumnya, viskositas *bio-oil* pada kulit durian sebesar 1,189 cP [4] dan ampas tebu sebesar 1,4-1,8 cP [3]. Berdasarkan Gambar 7, pada waktu pirolisis 5, 6 dan 7 jam menghasilkan viskositas dinamis *bio-oil* kulit durian sebesar 0,948 cP; 0,941 cP; 0,936 cP dan viskositas *bio-oil* dinamis ampas tebu sebesar 0,98 cP; 0,958 cP; 0,939 cP. Waktu pirolisis 5, 6 dan 7 jam menghasilkan viskositas kinematik *bio-oil* kulit durian sebesar 0,939 cSt; 0,932 cSt; 0,927 cSt dan viskositas *bio-oil* kinematik ampas tebu sebesar 0,971 cSt; 0,949 cSt; 0,930 cSt. Suhu dan lama waktu pirolisis mempengaruhi viskositas *bio-oil* karena dipengaruhi oleh densitas. Semakin berat densitas cairan maka viskositas akan

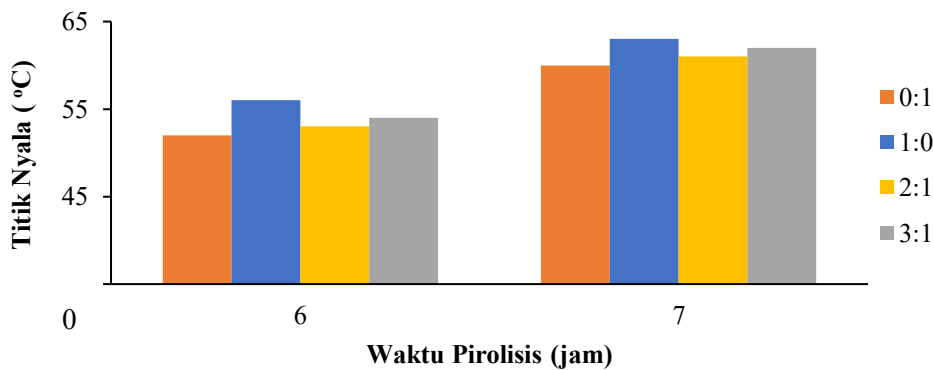
semakin tinggi karena banyak partikel yang menghambat aliran fluida [14]. Berdasarkan Gambar 7 terlihat bahwa viskositas menurun seiring bertambahnya waktu pirolisis dan viskositas bio oil dari ampas tebu lebih tinggi daripada kulit durian sehingga diperoleh hubungan antara viskositas dengan waktu pirolisis dan komposisi kulit durian pada bahan baku adalah berbanding terbalik Standar viskositas *bio-oil* menurut ASTM D7544 maksimal 125 cSt, Pada standar viskositas, *bio-oil* pada penelitian ini memenuhi standar sebagai bahan bakar.



Gambar 7. Pengaruh waktu pirolisis dan komposisi antara ampas tebu dengan kulit durian terhadap viskositas *bio-oil* pada berbagai rasio T/D

Pengaruh Waktu Pirolisis dan Komposisi Ampas Tebu dan Kulit Durian terhadap Titik Nyala *Bio-oil*

Pengaruh waktu pirolisis dan komposisi antara ampas tebu dengan kulit durian terhadap titik nyala *bio-oil* dapat dilihat pada Gambar 8. Pengujian titik nyala dilakukan dengan sampel terbaik yaitu pada waktu 6 dan 7 jam. Berdasarkan hubungan pada Gambar 6, waktu pirolisis singkat memungkinkan terjadinya penghambatan reaksi dehidrasi sekunder menyebabkan pengurangan kadar air pada *bio-oil* [13] sehingga semakin singkat waktu pirolisis, titik nyala akan berkurang. Berdasarkan Gambar 8, terlihat bahwa pada waktu pirolisis 6 dan 7 jam menghasilkan titik nyala sebesar 52 °C; 56 °C; 53 °C; 54 °C dan 60 °C; 63 °C; 61 °C; 62 °C. Terlihat bahwa titik nyala meningkat seiring bertambahnya waktu pirolisis. Maka terlihat bahwa semakin tinggi komposisi kulit durian pada *bio-oil* semakin rendah pula titik nyalanya, hal ini disebabkan oleh tingginya kadar air pada kulit durian. Menurut ASTM D7544, standar titik nyala *bio-oil* minimal 45°C. Pada standar titik nyala, *bio-oil* telah memenuhi standar sebagai bahan bakar.

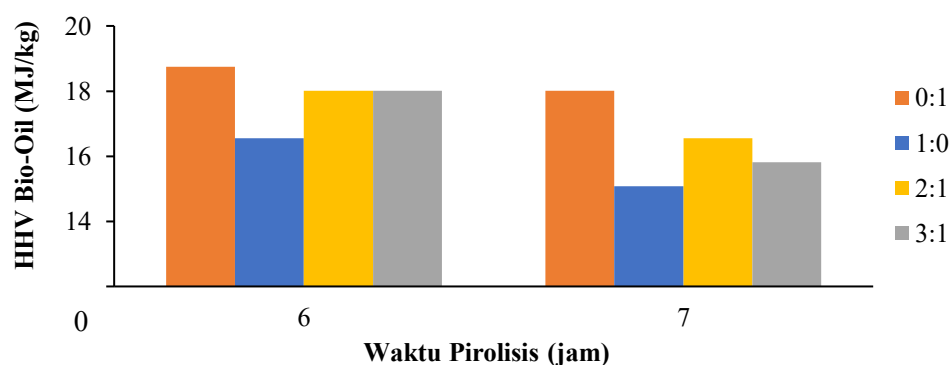


Gambar 8. Pengaruh waktu pirolisis dan komposisi antara ampas tebu dengan kulit durian terhadap titik nyala *bio-oil* pada berbagai rasio T/D

Pengaruh Waktu Pirolisis dan Komposisi Ampas Tebu dan Kulit Durian terhadap Nilai Kalor *Bio-oil*

Pengaruh waktu pirolisis dan komposisi antara ampas tebu dengan kulit durian terhadap nilai kalor *bio-oil* dapat dilihat pada Gambar 9. Pengujian nilai kalor *bio-oil* dilakukan pada sampel terbaik yaitu 6 dan 7 jam. Nilai kalor yang didapat berkisar 15,07 – 18,75 MJ/kg tergantung pada variasi waktu pirolisis dan rasio T/D. Semakin lama waktu pirolisis semakin rendah nilai kalor yang didapat. Fenomena ini sejalan dengan semakin tingginya kadar air pada *bio-oil* yang didapat seperti yang ditunjukkan di Gambar 6. Faktor kritis pada proses pirolisis adalah kadar air pada bahan baku [13]. Dari Gambar 9 dapat dilihat, nilai kalor *bio-oil* kulit durian

tertinggi dan *bio-oil* ampas tebu yang terendah, Nilai kalor semakin rendah jika T/D semakin tinggi, yang berarti ampas tebu semakin banyak. Penelitian sebelumnya pernah melaporkan nilai kalor *bio-oil* kulit durian sebesar 26,7-29,8 MJ/kg [4] dan *bio-oil* ampas tebu 9,31-10,81 MJ/kg [3]. Penelitian ini juga mendapati nilai kalor *bio-oil* kulit durian adalah lebih tinggi daripada nilai kalor ampas tebu. Namun, nilai kalor yang didapat lebih rendah daripada yang dilaporkan peneliti lain, perbedaan ini berkaitan dengan varietas dan kondisi bahan baku yang digunakan. Menurut ASTM nilai kalor bio-iol minimal 15 MJ/kg, berarti *bio-oil* hasil pirolisis campuran ampas tebu dan kulit durian telah memenuhi standar ditinjau dari nilai kalornya.



Gambar 9. Pengaruh waktu pirolisis dan komposisi antara ampas tebu dengan kulit durian terhadap nilai kalor *bio-oil* pada berbagai rasio T/D

4. Kesimpulan

Penambahan kulit durian pada bahan baku ampas tebu terbukti dapat memperbaiki karakteristik *bio-oil* yang dihasilkan. *Bio-oil* dengan kualitas terbaik dihasilkan pada waktu pirolisis 6 jam berasal dari bahan baku kulit durian dengan karakteristik yang memenuhi standar ASTM 7544 kecuali densitas yang terlalu rendah. Densitas yang rendah dapat diatasi dengan melakukan pemanasan lebih lanjut terhadap *bio-oil* yang diperoleh. Pada penelitian selanjutnya perlu dianalisis kandungan *bio-oil* dengan melakukan pengujian GCMS.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Muhammad Surya Nurhayoto karena telah membantu dalam pengujian kadar air, titik nyala, dan nilai kalor dari sampel *bio-oil* yang dihasilkan.

6. Konflik Kepentingan

Semua penulis tidak memiliki konflik kepentingan (*conflict of interest*) pada publikasi artikel ini.

Daftar Pustaka

- [1] a. s. d. s. n. hidayati, s. kurniawan, n. w. restu, and b. ismuyanto, "potential of sugar cane as an alternative raw material for making activated carbons," *natural-b*, vol. 3, no. 4, pp. 318–322, 2016, doi: 10.21776/ub.natural-b.2016.003.04.8.
- [2] f. sulaiman, "pemanfaatan abu ampas tebu dan polimer alam lateks sebagai bahan substitusi pembuatan beton polimer ramah lingkungan," *flywheel j. tek. mesin untirta*, vol. 1, no. 1, p. 7, 2019, doi: 10.36055/fwl.v1i1.6419.
- [3] a. zulkania, "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.
- [4] r. wulandari putri, e. nurisman, and rahmatullah, "produksi *bio-oil* dari limbah kulit durian dengan proses pirolisis lambat," *j. tek. kim.*, vol. 25, no. 2, pp. 50–53, 2019.
- [5] d. s. fardhyanti, *monograf bio-oil berbasis biomassa*, yogyakarta: deepublish publisher, 2020.
- [6] r. azri, s. bahri, dan aman, "pirolisis biomassa pelepah sawit menjadi *bio-oil* dengan katalis natural zeolit dealumintaed (nza)." *jom fteknik unri*, vol. 1, no. 4, pp. 1-11, 2014.
- [7] a. djauhari, e. widiastuti, y. yusuf, and w. sovianti, "bio - oil dari pirolisis serbuk gergaji kayu jati (*tectona grandis l.f*) tanpa gas n₂," *j. fluida*, vol. 8, no. 1, pp. 19–24, 2012.
- [8] d. mohan, c. u. pittman, and s. philip, "pyrolysis of wood/biomass for *bio-oil*: a critical review dinesh," *prog. energy combust. sci.*, vol. 62, no. 4, pp. 848–889, 2017, [online]. available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.peccs.2017.05.004>

- [9] b. s. pratama, p. aldriana, b. ismuyanto, and a. s. d. s. n. hidayati, “konversi ampas tebu menjadi biochar dan karbon aktif untuk penyisihan cr(vi),” *j. rekayasa bahan alam dan energi berkelanjutan*, vol. 2, no. 1, pp. 7–12, 2018.
- [10] y. l. tan, a. z. abdullah, and b. h. hameed, “fast pyrolysis of durian (*durio zibethinus l*) shell in a drop-type fixed bed reactor: pyrolysis behavior and product analyses,” *bioresour. technol.*, vol. 243, pp. 85–92, 2017, doi: 10.1016/j.biortech.2017.06.015.
- [11] a. sumianto, s. bahri, and khairat, “pembuatan *bio-oil* dari tandan kosong sawit dan pelepah sawit dengan teknologi pirolisis menggunakan katalis ni/nza,” *jom fteknik*, vol. 3, no. 2, pp. 1–10, 2020.
- [12] seri maulina and feni sari putri, “pengaruh suhu, waktu, dan kadar air bahan baku terhadap pirolisis serbuk pelepah kelapa sawit,” *j. tek. kim. usu*, vol. 6, no. 2, pp. 35–40, 2017, doi: 10.32734/jtk.v6i2.1581.
- [13] r. e. guedes, a. s. luna, and a. r. torres, “operating parameters for *bio-oil* production in biomass pyrolysis: a review,” *j. anal. appl. pyrolysis*, vol. 129, pp. 134–149, 2018, doi: 10.1016/j.jaap.2017.11.019.
- [14] f. a. s. dominggus g.h. adoe, wenseslaus bunganaen, ika f. krisnawi, “pirolisis sampah plastik pp (*polypropylene*) menjadi minyak pirolisis sebagai bahan bakar primer,” *J. Tek. Mesin UNDANA*, vol. 03, no. 01, pp. 17–26, 2019.