

## Analisa proses pirolisis dengan variasi jumlah tabung pembakaran terhadap karakteristik hasil bio-oil

Kemas Ridhuan<sup>1\*</sup>, Edi Winarno<sup>2</sup>, Dwi Irawan<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Metro  
Jl. Ki Hajar Dewantara 15 A Metro, Lampung.  
\*Corresponding author: [kmsridhuan69@gmail.com](mailto:kmsridhuan69@gmail.com)

### Abstract

*Bio-oil is a blackish liquid fuel derived from biomass such as corn cobs, rice husks and other biomass such as cocoa shells. The organic acid content in bio-oil gives bio-oil acidic properties. Bio-oil can be obtained in the pyrolysis combustion process, using a combustion tube. The number of tubes used can affect the yield characteristics of bio-oil. The purpose of this study was to determine the characteristics of bio-oil bio-oil produced by varying the number of combustion tubes in the pyrolysis process. Such as pyrolysis time, amount of bio-oil, temperature and content of bio-oil. This research method utilizes cocoa shell biomass waste to turn into bio-oil with a pyrolysis process, namely by varying the number of combustion tubes, namely one tube, two tubes and three tubes with a diameter of one tube 27.74 cm, two tubes 19.6 cm and three tubes 16 cm with the same cylinder volume of 18.7 cm<sup>3</sup>, by carrying out the prolysis process, namely putting the cocoa shell waste into the combustion tube and closing it. Then the combustion tube is inserted into the pyrolysis reactor and then closed and then burned. From the results of the research, the results of bio-oil in a single tube of raw material were 130 ml with a processing time of 113 minutes and bio-oil characteristics, a calorific value of 2177,464 cal/g, a viscosity of 1,574 CPs, and a pH of 4.77. Whereas in the second raw material tube, there were 80 ml with a processing time of 105 minutes and specifications for bio-oil, a calorific value of 2071,151 cal/g, a viscosity of 1,780 CPs and a pH of 4.96. While the three raw material tubes were 50 ml with a processing time of 100 minutes, and bio-oil specifications, calorific value 1983,950 cal/g, viscosity 2,626 CPs and pH 5.42.*

**Keywords:** *Pyrolysis, Bio-oil, Number of tubes, Cocoa hull, Characteristics.*

### Abstrak

Bio-oil merupakan suatu bahan bakar berbentuk cair berwarna kehitaman yang berasal dari biomassa seperti tongkol jagung, sekam padi dan biomassa lainnya seperti kulit kakao. Kandungan asam organik pada bio-oil memberikan sifat asam pada bio-oil. Bio-oil dapat diperoleh pada proses pembakaran pirolisis, dengan menggunakan tabung pembakaran. Jumlah tabung yang digunakan dapat mempengaruhi karakteristik hasil bio-oil. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui karakteristik bio-oil bio-oil yang dihasilkan dengan variasi jumlah tabung pembakaran pada proses pirolisis. Seperti waktu pirolisis, banyaknya bio-oil, suhu dan kandungan bio-oil. Metode penelitian ini memanfaatkan limbah biomasa kulit kakao menjadi bio-oil dengan proses pirolisis, yaitu dengan memvariasikan jumlah tabung pembakaran yaitu satu tabung, dua tabung dan tiga tabung dengan diameter satu tabung 27,74 cm, dua tabung 19,6 cm dan tiga tabung 16 cm dengan volume silinder yang sama yaitu 18,7 cm<sup>3</sup>, dengan melakukan proses prolisis, yaitu memasukan limbah kulit kakao ke dalam tabung pembakaran dan ditutup. Lalu tabung pembakaran dimasukan ke dalam reaktor pirolisis lalu ditutp dan kemudian dibakar. Dari hasil penelitian hasil bio-oil tabung bahan baku satu sebanyak 130 ml dengan waktu proses 113 menit dan karakteristik bio-oil, nilai kalor 2177.464 cal/g, viscositas 1.574 CPs, dan pH 4,77. Sedangkan pada tabung bahan baku

dua sebanyak 80 ml dengan waktu proses 105 menit dan spesifikasi bio-oil, nilai kalor 2071.151 cal/g, viscositas 1.780 CPs dan pH 4,96. Sedangkan tabung bahan baku tiga sebanyak 50 ml dengan waktu proses 100 menit, dan spesifikasi bio-oil, nilai kalor 1983.950 cal/g, viscositas 2.626 CPs dan pH 5,42.

**Kata kunci:** Pirolisis, Bio-oil, Jumlah tabung, Kulit kakao, Karakteristik.

---

## Pendahuluan

Limbah organik merupakan hasil produksi dari makhluk hidup. Limbah organik dapat diperoleh dari tanaman perkebunan, pertanian, peternakan dan hutan. Beberapa limbah pertanian yang ada seperti sekam padi, kulit kelapa, serbuk gergaji dan kulit kakao. Limbah ini jika tidak diolah maka akan menimbulkan permasalahan bagi lingkungan. Oleh karena itu limbah tersebut harus diolah dan dimanfaatkan sebagai bahan yang berguna. Limbah kulit kakao merupakan limbah organik biomassa yang merupakan sisa dari pengolahan biji kakao untuk bahan baku coklat. Limbah ini sebagian besar oleh masyarakat hanya dibuang begitu saja, sehingga perlu adanya pemanfaatan dan pengolahan lebih lanjut. Berbagai cara yang dapat dilakukan salah satunya yaitu dengan diolah secara pirolisis. Pirolisis merupakan suatu proses dekomposisi biomassa dengan cara pemanasan atau pembakaran pada suatu reaktor dengan sedikit atau tanpa udara. Hasil dari proses pirolisis ini yaitu berupa bio-oil, gas dan bio-arang.

Bio-oil merupakan suatu bahan bakar berbentuk cair berwarna kehitaman yang berasal dari biomassa. Kandungan asam organik pada bio-oil memberikan sifat asam pada bio-oil. Limbah kulit kakao bisa dijadikan bio-oil karena memiliki kandungan utama yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin [1]. Berbagai macam bio-oil dari limbah organik biomassa seperti sekam padi, tongkol jagung, kulit durian [2].

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses pirolisis seperti suhu, biomassa, waktu dan reaktor. Pada reaktor pirolisis terdapat silinder pembakaran yang berfungsi sebagai tempat

mendekomposisikan bahan biomassa dengan tanpa udara. Untuk mendapatkan hasil yang maksimal silinder pembakaran dapat bervariasi dengan beberapa jumlah silinder pembakaran seperti 1 silinder, 2 silinder dan 3 silinder. Variasi ini dapat meningkatkan suhu dan waktu pirolisis yang tentunya juga akan berpengaruh pada karakteristik bio-oil yang dihasilkan.

Dengan cara pembakaran di dalam reaktor dan di dalam suatu reaktor tersebut terdapat tabung tempat bahan baku biomassa dan diluar nya bahan bakar [3]. Dengan beberapa perbandingan jumlah tabung dan bagaimana pengaruh terhadap hasil, karakteristik dan lama waktu proses menghasilkan bio-oil tiap jumlah tabung.

## Kajian Pustaka

### 1. Pirolisis biomassa

Pirolisis biomassa merupakan suatu proses dekomposisi kimia bahan organik melalui pemanasan atau pembakaran dari bahan biomassa di dalam suatu reaktor dengan menggunakan sedikit atau tanpa udara atau reagen lainnya, di mana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas. Pirolisis adalah kasus khusus termolisis. Pirolisis ekstrim, yang hanya meninggalkan karbon sebagai residu, disebut karbonisasi.

Pirolisis adalah kasus khusus dari thermolysis terkait dengan proses kimia charring, dan yang paling sering digunakan untuk organik bahan.. Hal ini terjadi secara spontan pada temperatur tinggi (misalnya, di atas 300°C untuk kayu, itu berbeda untuk bahan lainnya) [4].

Pirolisis merupakan suatu proses pembakaran biomassa tanpa melibatkan oksigen pada temperatur tinggi (temperatur antara 450<sup>0</sup>C-600<sup>0</sup>C). Produk yang dihasilkan dari pirolisis adalah minyak,

arang dan gas. Sekarang ini pirolisis sangat menjanjikan dalam konversi teknologi *thermo-chemical* untuk memproduksi produk berupa cairan [5].

Pirolisis yang banyak digunakan dalam industri kimia, misalnya, untuk menghasilkan arang, karbon aktif, metanol dan bahan kimia lainnya dari kayu, untuk mengubah ethylene dichloride ke vinyl klorida untuk membuat PVC, untuk memproduksi kokas dari batubara, untuk mengubah biomassa menjadi gas sintesis, untuk mengubah limbah menjadi bahan sekali pakai dengan aman, dan untuk retak menengah-berat hidrokarbon dari minyak untuk memproduksi lebih ringan yang seperti bensin.

Adapun hasil dari proses pirolisis ini berupa bio-oil, bio-arang, sinhgas, asap cair dan tar. Bio-oil merupakan bahan bakar cair, bio-arang adalah bahan bakar padat, sinhgas adalah bahan bakar gas, asap cair merupakan bahan pengawet alami makanan dan juga pupuk cair, dan tar adalah bahan buangan.

## 2. Tabung pembakaran

Tabung pembakaran merupakan tempat pemanasan dekomposisi kimia bahan baku biomassa. Tabung ini terletak di dalam reaktor pirolisis. Proses pembakaran terjadi di dalam reaktor dan diluar tabung pembakaran. Tabung ini terhubung langsung dengan kondensor melalui sebuah pipa aliran uap/gas pembakaran biomassa.

## 3. Bio-oil

Bio-oil merupakan salah satu jenis bioenergi. Istilah ini mungkin terdengar sedikit asing dibandingkan dengan jenis-jenis bio-energi lainnya. Bio-oil adalah bahan bakar berbentuk cair berwarna kehitaman yang berasal dari biomassa limbah organik dan biomassa lainnya seperti dari limbah perkebunan, hutan ataupun dari pertanian, melalui proses pirolisis. Kandungan asam organik dalam bio-oil memberikan sifat asam pada bio-oil. Kandungan lainnya dalam bio-oil adalah

air, tetapi air tidak bersifat kontaminan, karena air bercampur dengan bio-oil. Kandungan air dalam bio-oil 20-25 % dan pH 2,5-3,0 %. Bio-oil berwarna gelap dengan penampilan yang mirip seperti kopi dan beraroma asap [6].



Gambar 1. Bio-oil.

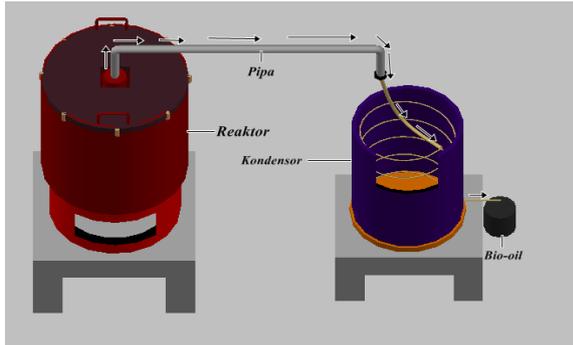
Bio-oil yang dihasilkan dari proses pirolisis mengandung air 15-30%, lignin pirolitik 20-30%, asam karboksilat 10-20% (Terdiri dari asetat, formik, propionik dan glikol sebagai asam karboksilat terbanyak dan butirir, pentanoik serta heksanoik yang merupakan asam karboksilat yang dihasilkan sedikit), aldehid 14-25% (Glikodehid, glyoxal, hidroksipropinol, metik glyoxal dan sedikit formaldehid, asetaldehid 2-furaldehid dan syringaldehid), gula 5-15% (Levoglukosan, fruktosa, cellobiosan, glukosa dan sedikit mengandung oligosakarida), keton 4-10%. (Hidroksipropana, siklopentanon, siklopentana, furanon, hidroksimetilpiron dan sedikit butirolakton, asetiloksipropanon), alkohol 2-10% (Asetol, metanol, etilen glikol) dan padatan 2-8% [7].

## 4. Kakao

Kulit kakao merupakan bagian mesokarp atau dinding buah kakao yang mencakup kulit terluar sampai daging buah sebelum kumpulan biji. kulit buah kakao merupakan bagian terbesar dari buah kakao.

Tabel 1. Kandungan kulit kakao [6].

No	Komponen kimia	%
1	Kadar hemiselulosa	48,64
2	Kadar selulosa	31,25
3	Kadar liqnin	20,11
4	Kadar karbohidrat	16,27
5	Kadar air	12,96
6	Kadar abu	11,10
7	Kadar protein	8,75
8	Kadar lemak	1,11



Gambar 2. Rangkaian Reaktor Kondensasi.

### Metode Penelitian

Adapun reaktor pirolisis yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Reaktor pirolisis

Ukuran reaktor pirolisis :

Tinggi ruang bakar : 67 cm  
 Diameter reaktor : 100 cm  
 Ketebalan plat reaktor : 2,5 cm

Tinggi ruang bakar : 67cm  
 Tinggi ruang isolator : 67 cm  
 Jarak ruang isolator : 3 cm  
 Tebal plat isolator : 1,2 mm

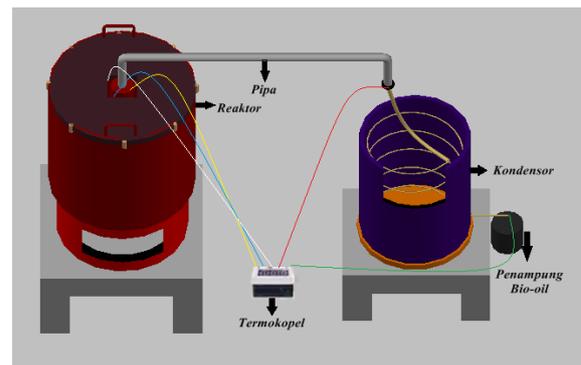


Gambar 4. Tabung Pembakaran.

Ukuran tabung pembakaran

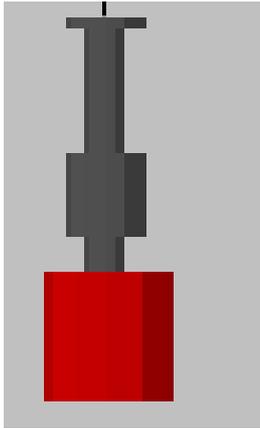
Tinggi Tabung : 31 cm  
 Ketebalan plat : 2 mm  
 Jumlah tabung : 1, 2 dan 3 tabung

Adapun bahan baku biomassa yang digunakan pada penelitian ini yaitu limbah kulit kakao. Dan bahan bakar yang digunakan yaitu biomassa kayu karet.



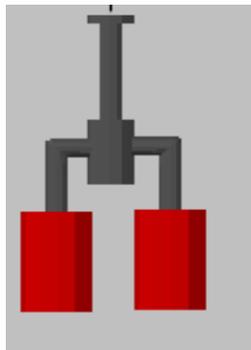
Gambar 5. Rangkaian reaktor pirolisis dan kondensor

Tabung pembakaran ditunjukkan oleh gambar 6.



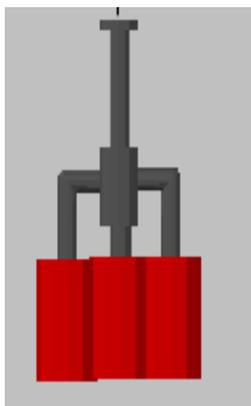
Gambar 6. Tabung pembakaran satu silinder.

Ukuran :  
 Diameter : 27,74 cm  
 Tinggi : 31 cm



Gambar 7. Tabung pembakaran dua silinder.

Ukuran :  
 Diameter : 19,6 cm  
 Tinggi : 31 cm



Gambar 8. Tabung pembakaran tiga silinder.

Ukuran:  
 Diameter : 16 cm  
 Tinggi : 31 cm

Setelah melakukan pengujian maka di kumpulkan data data yang di peroleh dari hasil pembakaran dengan menggunakan 3 jumlah tabung bahan baku yaitu 1 tabung, 2 tabung, dan 3 tabung dengan menggunakan bahan baku dan bahan bakar biomasa kulit kakao, bahan baku yang digunakan pada masing masing tabung sebanyak 2,4 kg dan bahan bakar 8 kg.

### Hasil dan Pembahasan

Adapun hasil penelitian yang didapatkan dengan memvariasikan jumlah tabung pembakaran 1, 2, dan 3.

Tabel 2. Suhu Pembakaran tiap tabung pembakaran

Waktu (menit)	Suhu Satu Tabung (°C)	Suhu Dua Tabung (°C)	Suhu Tiga Tabung (°C)
1	34	33	33
10	128	118	109
20	139	131	128
30	175	168	145
40	206	184	181
50	220	196	195
60	234	224	226
70	258	240	241
80	281	262	266
90	304	289	273
100	321	296	280
110	327	309	295
120	331	321	
130	334		
138	339		

Dari tabel 2 terlihat suhu pembakaran pada satu tabung menit ke-10 sampai menit ke-138 lebih tinggi dibandingkan dengan suhu pembakaran pada tabung dua dan tabung tiga, karena pada saat pembakaran perambatan api yang ada pada ruang bakar lebih cepat, secara otomatis bahan bakar yang ada di ruang bakar pada tabung satu lebih cepat terbakar. Suhu pembakaran pada dua tabung temperatur bahan bakar diantara tabung satu dan tabung tiga. Suhu pembakaran pada tiga tabung menit ke-10 sampai menit

ke 110 suhunya justru lebih rendah dibandingkan dengan Suhu pembakaran pada pada satu tabung dan dua tabung, hal ini dikarenakan pada ruang bakar tiga tabung memiliki jumlah biomassa lebih sedikit tiap tabungnya sehingga akumulasi suhu pembakaran yang terjadi kecil dibanding tabung lainnya yaitu satu tabung dan tiga tabung.

Semakin sedikit jumlah tabung maka suhu bahan bakar semakin besar dan semakin banyak jumlah tabung temperatur bahan bakar semakin kecil karena untuk 1 tabung memiliki jumlah biomassa lebih banyak sehingga suhu pembakaran menjadi tinggi dibandingkan 3 tabung yang terbagi 3 sehingga Tiap tabung sedikit biomasnya dan suhu pembakarannya kecil. Dan temperatur bahan bakar pada tabung tiga lebih banyak digunakan untuk proses pemanasan pada tabung, sehingga temperatur di bahan bakar rendah.

### 1. Hasil cairan tiap tabung

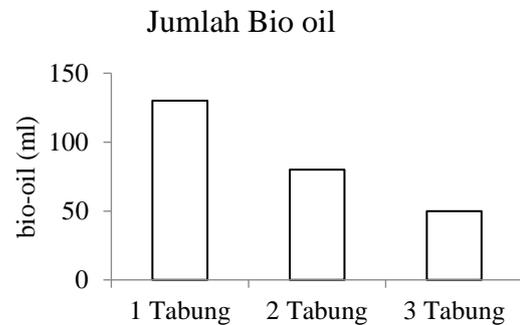
Adapun hasil cairan bio oil yang didapat dari masing-masing tabung yaitu seperti pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil cairan tiap tabung.

Tabung	Satu Tabung	Dua Tabung	Tiga Tabung
Jumlah Bio-Oil (ml)	130	80	50

Dari gambar 5 menunjukkan bahwa cairan bio-oil yang dihasilkan oleh satu tabung lebih banyak di bandingkan dengan dua tabung dan tiga tabung, karena suhu pembakaran satu tabung lebih besar dibanding tabung lainnya. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya [8], karena semakin tinggi suhu pirolisis maka komponen atau senyawa yang ada di dalam biomassa akan semakin banyak yang terdekomposisi menjadi asap sehingga jumlah asap cair yang dihasilkan akan semakin banyak. Menurut Fadillah [9] interaksi suhu dan waktu pirolisis sangat berpengaruh nyata terhadap rendemen tar dan arang. Dan juga semakin tinggi suhu

maka kecepatan reaksi pirolisis akan semakin meningkat sehingga kemampuan untuk menguraikan senyawa - senyawa organik yang ada pada biomassa juga semakin besar.



Gambar 9. Jumlah bio oil tiap tabung

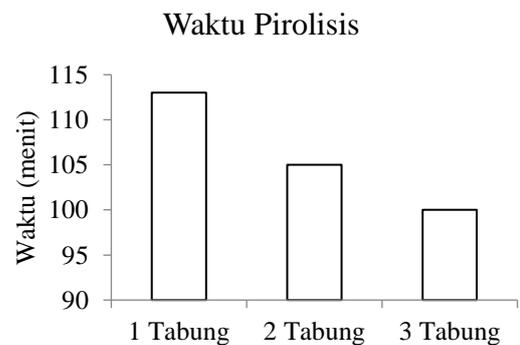
### 2. Lama waktu cairan menetes tiap tabung

Lama waktu yang terjadi selama proses menetesnya bio-oil sampai berhenti dapat dilihat tabel 4.

Tabel 4. Lama waktu cairan menetes.

Jumlah Tabung	Menit ke-	Total (menit)
Satu Tabung	25-138	113
Dua Tabung	19-124	105
Tiga Tabung	12-112	100

Pada gambar 10 terlihat bahwa lama waktu cairan menetes pada satu tabung lebih lama dibandingkan dengan dua tabung dan tiga tabung, karena luas permukaan satu tabung lebih besar dan lebih banyak biomasnya sehingga proses pemanasan bahan baku pada tabung satu lebih lambat dan cairan keluar akan lebih lama.



Gambar 10. Lama waktu pirolisis tiap tabung

### 3. Hasil uji laboratorium

Adapun hasil uji Lab pada bio oil mengenai beberapa karakteristik seperti nilai kalor, viskositas dan pH, yang dikandung untuk tiap jumlah tabung ditunjukkan Tabel 5-7.

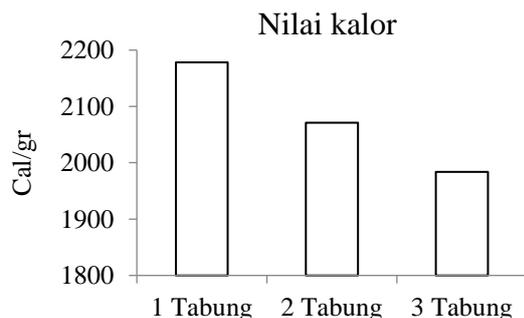
#### a. Nilai kalor

Jumlah nilai kaolr yang dimiliki bio-oil tiang jenis tabung dapat dilihan pada tabel 5.

Tabel 5. Nilai kalor pada bio-oil.

No	Jenis Tabung	Nilai Kalori (Cal/gr)
1	Satu Tabung	2177,464
2	Dua Tabung	2071,151
3	Tiga Tabung	1983,950

Dari gambar 11 menunjukkan bahwa pada satu tabung nilai kalornya lebih besar yaitu 2177,464 cal/gr. dibandingkan dengan nilai kalor pada dua tabung yaitu 1983,950 cal/gr. dan tiga tabung, berdasarkan hasil yang didapat bahwa pada suhu dan waktu pembakaran, semakin sedikit jumlah tabung maka suhu semakin tinggi dan waktu pembakaran semakin lama sehingga nilai kalor/energi yang diperoleh semakin banyak. Menurut Farid [10], semakin tinggi suhu pirolisis maka semakin tinggi nilai kalor. Hal ini disebabkan dengan bertambah naiknya suhu maka semakin banyak ikatan atom yang dipegang atom C pada karbohidrat dan protein banyak yang terputus sehingga didalam ruang reaksi semakin banyak kadar C (arang) dan semakin murni, maka dengan demikian nilai kalor akan semakin meningkat dengan meningkatnya nilai suhu.



Gambar 11. Nilai kalor bio oil tiap tabung

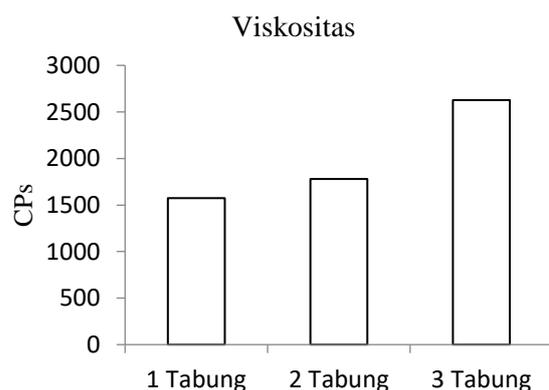
#### b. Viskositas

Viskositas merupakan nilai kekentalan dari bio-oil yang dihasilkan tiap tabung. Adapun hasilnya seperti pada tabel 6.

Tabel 6. Nilai viscositas pada bio-oil.

No	Nama Sampel	Viscositas (CPs)
1	Satu Tabung	1.574
2	Dua Tabung	1.780
3	Tiga Tabung	2.626

Pada gambar 12 terlihat bahwa semakin banyak tabung nilai viscositas semakin tinggi yaitu 2.626 CPs. Dan sebaliknya semakin sedikit jumlah tabung maka nilai viskos semakin kecil yaitu 1.574 CPs. Hal ini dikarenakan bahwa suhu pembakaran yang tinnggi dapat menyebabkan cairan bio-oil menjadi lebih encer. Dan sebaliknya jika suhu pembakaran rendah cairan bio-oil menjadi lebih kental. Suhu pembakaran tinggi maka akan menyebabkan viscositas dari hasil cairan tersebut semakin besar. Tetapi semakin besar nilai viscositas maka fluida/air sulit untuk mengalir (ketahanan internal fluida) sehingga hasil cairan yang diperoleh sedikit.



Gambar 12. Viskositas bio oil.

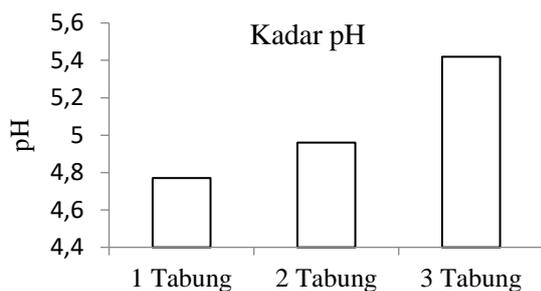
#### c. Keasaman (pH)

Nilai keasaman (pH) dari bio-oil yang dihasilkan dari tiap tabung terlihat pada tabel 7.

Tabel 7. Nilai keasaman pada bio-oil.

No	Jenis Tabung	Sampel (gr)	Titration (ml)	pH
1	Satu Tabung	10.178	7.2	4,77
2	Dua Tabung	10.571	6.3	4,96
3	Tiga Tabung	10.204	6.9	5,42

Berdasarkan gambar 13, terlihat bahwa nilai keasaman yaitu semakin banyak jumlah tabung nilai keasaman (pH) semakin tinggi dan semakin rendah keasaman yang terkandung. Pada satu tabung nilai pH lebih kecil yaitu 4,77 dan pada tiga tabung nilai pH lebih tinggi yaitu 5,42. Menurut Wibowo [11], pH terendah terdapat pada suhu 550°C dengan sampel serbuk kayu mahoni yaitu sebesar 2,98 dan pH tertinggi diperoleh pada sampel kertas pada suhu *sludge* 400°C yaitu sebesar 3,37. Derajat keasaman bio-oil disebabkan adanya kandungan asam organik yang dihasilkan dalam proses pirolisis. Menurut Fadhyanti [12], bahwa viskositas paling tinggi dimiliki oleh *bio-oil* hasil pirolisis tempurung kelapa sebesar 1,1851cp. Viskositas menjelaskan ketahanan internal fluida untuk mengalir. Semakin rendah viskositas suatu fluida, semakin besar pula pergerakan dari fluida tersebut.



Gambar 13. Kadar pH pada Bio oil.

### Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan semakin banyak jumlah tabung pembakaran, maka menghasilkan bio-oil lebih sedikit dan dengan waktu lebih cepat dan suhu lebih rendah. Dan sebaliknya. Pada satu tabung menghasilkan bio-oil

sebanyak 130 ml, dua tabung 80 ml dan tiga tabung 50 ml, Semakin banyak tabung bahan baku, maka bio-oil yang dihasilkan semakin sedikit. Pada satu tabung nilai kalor Bio oilnya 2177.464 Cal/g, dua tabung 2071.151 Cal/g, dan tiga tabung 1983.950 Cal/g. Pada satu tabung ; viskositas 1.574 CPs, dua tabung viskositas 1.780 CPs, dan tiga tabung viscositas 2.626 Cps. Pada satu tabung ; pH 4,77, dua tabung pH 4,96, dan tiga tabung pH 5,42. Semakin tinggi nilai pH maka semakin rendah keasaman.

### Referensi

- [1]. Raharja., Suryadharma., Suluhingtyas, 2009. *Optimization Technique of Corn Biomass Pyrolysis for Production of Food Additive and Energy.* Dep. Teknologi Industri Pertanian, Bogor.
- [2]. Yan Aulia, 2011. *Pemanfaatan Bonggol Jagung Menjadi Asap Cair Menggunakan Proses Pirolisis Guna untuk Pengawetan Ikan Layang.* Universitas Diponegoro, Semarang.
- [3]. Rizki Inthiwfawzi, 2015. *Pengaruh Jenis Biomassa Terhadap Karakteristik Biooil dari Hasil Proses Pirolisis.* Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Metro, Lampung.
- [4]. Sulhatun, Rosdanelli Hasibuan., 2019, *Yrotechnology 4 In 1: Prinsip Dasar Teknologi Pirolisa Biomassa,* Unimal Press, Lhokseumawe, Aceh.
- [5]. Jumarlina, 2009. *Bio-oil yang Dihasilkan dari Tandan Kosong Kelapa Sawit. Thermogravimetric Analysis.*
- [6]. James L. Easterly, P.E. 2002. *Assessment of Bio-Oil as a Replacement for Heating Oil.* Northeast Regional Biomass Program Managed By The CONEG Policy Research Center, Inc.
- [7]. Wanti Amanda, 2008. *Komposisi Kimia Limbah Kulit Kakao.*

- Departemen Perindustrian Balai Penelitian Kimia, Ujung Pandang.
- [8] Ridhuan, Kemas,. Irawan, Dwi.,(2019), Comparison Of Biomass Ziolite Mixture As Catalyst On Pirolisis Combustion On Results Of Biochar And Liquid Smoke, Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) XVIII.
- [9] Fadillah, Haris,. Alfarty, Alivia,. 2015, The Influence Of Pyrolysis Temperature And Time To The Yield And Quality of Rubber Fruit (*Hevea brasiliensis*) Shell Liquid Smoke, Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” ISSN 1693-4393, Yogyakarta.
- [10] Majedi, Farid,. Susanto, Fredy, 2019, Perubahan Kuantitas Dan Nilai Kalor *Char* Dengan Variasi Temperatur Pada Pirolisis Limbah Brem, Jurnal Teknologi, ISSN : 2085 – 1669 e-ISSN : 2460 – 0288 Vol. 11 No.2 DOI: <https://dx.doi.org/10.24853/jurtek.11.2.91-96>.
- [11] Wibowo, Santiyo,. 2015, Karakteristik Bio-Oil Dari Limbah Industri Hasil Hutan Menggunakan Pirolisis Cepat, Jurnal Penelitian Hasil Hutan ISSN: 0216-4329 Terakreditasi Vol. 34 No.1 Hal. 61-76.
- [12] Fardhyanti, Selvia, Dewi,. Damayanti, Astrilia dkk, 2017, Karakterisasi *Bio-Oil* dari Hasil Pirolisis terhadap Biomasa, Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” ISSN 1693-4393, Yogyakarta.
- [13] Budiyanto, E., & Yuono, L. D. *Proses Manufaktur*. Eko Budiyanto.