

## PENGARUH PERSENTASE KATALIS CaO-ZEOLIT ALAM PADA PIROLISIS CAMPURAN CANGKANG SAWIT DAN PLASTIK TERHADAP SIFAT FISIK DAN KIMIA *PYROLYTIC OIL*

Taufik Fadilah<sup>a</sup>, Thoharudin, S.,T. M.T. <sup>b</sup>, Muhammad Nadjib, S.,T. M.Eng.<sup>c</sup>

<sup>a, b, c</sup> Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Jl. Brawijaya, Kasihan, Bantul, Yogyakarta 55183, Indonesia

+62 274 387656

e-mail: <sup>a</sup> [taufikfadilaah@gmail.com](mailto:taufikfadilaah@gmail.com), <sup>b</sup> [thoharudin@gmail.com](mailto:thoharudin@gmail.com), <sup>c</sup> [nadjibar@yahoo.com](mailto:nadjibar@yahoo.com).

---

### Intisari

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh persentase katalis (*Calcium Oxide* (CaO) + Zeolit alam) pada pirolisis campuran cangkang sawit dan plastik terhadap sifat fisik dan kimia *pyrolytic-oil*. Bahan baku yang digunakan berupa cangkang sawit dan plastik jenis LDPE (*Low Density Polyethylene*) sebanyak 600 gr dengan metode pencampuran 50:50 dari kedua bahan baku tersebut, selanjutnya dilakukan penambahan variasi katalis (CaO + Zeolit alam) dengan persentase 0%wt, 25%wt, 50%wt, 75%wt, dan 100%wt. Selanjutnya dilakukan pengujian juga untuk pirolisis masing-masing bahan baku dengan penambahan katalis CaO maupun Zeolit alam secara terpisah sebanyak 75%wt. Campuran cangkang sawit dan plastik dengan penambahan persentase katalis tersebut, kemudian dipirolisis dalam reaktor tipe *fixed bed* dan diberi pemanasan pada temperatur 500°C. Produk cair dari proses pirolisis kemudian dilakukan pengujian sampel diantaranya menghasilkan densitas terendah pada pirolisis campuran cangkang sawit dan plastik dengan katalis (CaO + Zeolit alam) 75% sebesar 836,70 kg/m<sup>3</sup>. Pengujian nilai pH menunjukkan bahwa semakin banyak persentase katalis maka semakin baik dalam mengurangi kandungan asam. Pengujian viskositas diperoleh nilai tertinggi dan terendah sebesar 4,85 cP dan 1,3 cP. Pengujian nilai kalor (HHV) didapat nilai sebesar 44,503 MJ/kg pada pirolisis campuran cangkang sawit dan plastik dengan katalis (CaO + Zeolit alam) 75%, sedangkan pada identifikasi senyawa penyusun memperlihatkan bahwa penggunaan katalis berpengaruh terhadap pembentukan senyawa alkana melalui reaksi dekarboksilasi yang dapat meningkatkan kandungan hidrokarbon pada *pyrolytic-oil*.

Kata kunci: Pirolisis, Cangkang sawit, Plastik, *Pyrolytic-oil*, Katalis CaO, Katalis Zeolit Alam.

---

### 1. Pendahuluan

Bahan bakar minyak yang digunakan selama ini berasal dari minyak mentah yang diambil dari perut bumi (minyak bumi), sementara minyak bumi merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui (Sirait, 2016). Ketergantungan terhadap bahan bakar yang bersumber tak terbarukan ini harus diminimalisir, karena cepat atau lambat sumber energi tersebut akan semakin menipis bahkan dapat habis. Dengan demikian perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut untuk mendalami potensi energi terbarukan sebagai energi alternatif pengganti bahan bakar minyak bumi.

Potensi energi terbarukan di negara Indonesia tersedia dalam jumlah cukup besar salah satunya adalah energi biomassa, di mana energi ini memiliki

potensi sebesar 32,654 MW (BPPT, 2017). Energi biomassa bisa didapatkan salah satunya melalui pemanfaatan cangkang sawit dari sisa hasil perkebunan kelapa sawit. Menurut Dirjen Perkebunan (2017) Indonesia memiliki kekayaan alam berupa perkebunan kelapa sawit dengan luas area 12,3 juta hektar dengan total produksi mencapai 7 juta ton pertahun. Dari sekian banyaknya kelapa sawit yang diproduksi, maka akan diikuti dengan potensi limbah dalam jumlah besar yang sampai saat ini pemanfaatan limbah menjadi sumber energi alternatif belum dilakukan secara optimal.

Selain itu Indonesia juga memiliki potensi limbah plastik dalam jumlah besar. Berdasarkan riset yang dilakukan oleh Jambeck dkk, (2015) hasil

penelitiannya menunjukkan bahwa Indonesia merupakan negara penghasil sampah plastik terbesar kedua di dunia setelah Cina yaitu sebesar 187,2 juta ton per tahun. Jika penggunaan plastik di setiap tahunnya terus meningkat, maka sampah yang dihasilkan pun akan semakin banyak dan dapat mencemari lingkungan. Plastik merupakan produk turunan dari minyak bumi yang memiliki nilai kalor cukup tinggi setara bensin, solar dan kerosin sebesar 41,90 MJ/kg - 46,50 MJ/kg (Syamsiro, 2015). Dengan demikian sampah plastik sangat berpotensi menjadi sumber energi alternatif dengan cara dikonversi menjadi bahan bakar minyak.

Sampai saat ini pemanfaatan limbah cangkang sawit dan sampah plastik untuk menjadi sumber energi alternatif belum diupayakan secara optimal. Oleh karena itu diperlukan suatu metode pengkonversi kedua limbah tersebut agar dapat menjadi produk bermanfaat menjadi bahan bakar minyak. Salah satu metode pengkonversi yang dapat digunakan adalah metode pirolisis dengan menggunakan komponen reaktor yang dilengkapi dengan kondensor sebagai pendinginan (Habibati, 2014).

Kelemahan dari produk cair pirolisis yaitu memiliki kandungan air sangat tinggi, memiliki nilai kalor yang rendah dan memiliki keasaman cukup tinggi, sehingga dapat menyebabkan korosi apabila digunakan sebagai bahan bakar kendaraan (Sihabudin, 2018). Menurut Syamsiro (2015) salah satu upaya untuk memperbaiki kualitas produk cair pirolisis yaitu dengan menggunakan katalis, di mana katalis dapat menghasilkan produk sesuai dengan yang diinginkan. Dengan demikian, penelitian pirolisis campuran cangkang sawit dan plastik dengan menggunakan katalis CaO dan Zeolit alam sangat penting dilakukan guna menghasilkan produk cair pirolisis yang berkualitas baik.

Dipilih katalis berbahan CaO dan Zeolit alam karena ketersediaannya yang melimpah di alam serta harganya ekonomis, selain itu kedua katalis tersebut juga menawarkan berbagai reaksi tambahan yang menarik. Menurut Wang dkk, (2010) katalis CaO berperan

sebagai katalis pada pirolisis dengan reaksi sebagai berikut:

- a) Reaksi netralisasi  

$$\text{CaO} + 2\text{R-COOH} \rightarrow (\text{RCOO})_2\text{Ca} + \text{H}_2\text{O}$$

$$(\text{RCOO})_2\text{Ca} \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{R-COR}$$
- b) Reaksi thermal cracking  

$$\text{R-COOH} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{RH}$$
- c) Reaksi catalytic cracking  

$$\text{CaO} + \text{R-COOH} \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{RH}$$

Sementara itu Zeolit alam juga menawarkan tahapan-tahapan reaksi jika digunakan sebagai katalis pada proses pirolisis. Menurut Dickerson (2013) Zeolit alam memiliki reaksi dehidrasi, dekarbonilasi, dekarboksilasi dan aromatisasi sebagai berikut:

- a) Reaksi Dehidrasi  

$$\text{C}_2\text{H}_4\text{O} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2\text{O}$$
- b) Reaksi Dekarbonilasi  

$$\text{R-CHO} \rightarrow \text{R-H} + \text{CO}$$
- c) Reaksi Dekarboksilasi  

$$\text{R-COOH} \rightarrow \text{R-H} + \text{CO}_2$$
- d) Reaksi Aromatisasi  
 (Pembentukan senyawa aromatik)

## 2. Metodologi Penelitian

### Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini diantaranya : Cangkang kelapa sawit yang dibeli dari daerah Pandeglang - Banten, Plastik jenis LDPE yang dibeli dari toko Yobel - Yogyakarta, Katalis CaO dan Zeolit alam yang dibeli dari toko Brataco Chemical Yogyakarta.

### Persiapan Bahan

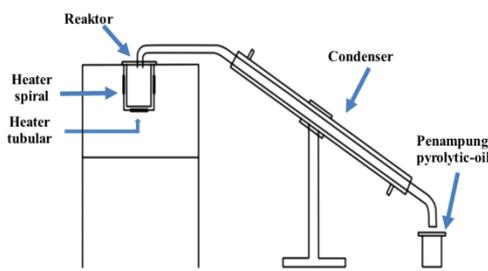
Persiapan bahan dengan melakukan pencacahan material plastik menjadi ukuran  $\pm 5$  cm, serta melakukan penjemuran cangkang kelapa sawit yang bertujuan untuk menghilangkan kandungan air. Setelah cangkang sawit dijemur, selanjutnya dilakukan juga pencacahan dan pembersihan dari kotoran seperti tanah atau pengotor lainnya.

### Proses Pencampuran

Setelah plastik dan cangkang sawit dilakukan pencacahan dan pembersihan kemudian kedua bahan tersebut dicampur dengan penimbangan masing-masing bahan sebanyak 300 gram. Selanjutnya dilakukan penambahan variasi katalis (CaO + Zeolit alam) dengan persentase 0%wt, 25%wt, 50%wt, 75%wt, dan 100%wt.

### Proses Pengujian Pirolisis

Setelah bahan dan tiap-tiap variasi penambahan katalis disiapkan, selanjutnya kedua bahan dan katalis tersebut dimasukkan ke dalam reaktor untuk diproses pirolisis. Adapun proses pirolisis masing-masing variasi dilakukan pengujian sebanyak dua kali, hal ini bertujuan untuk memvalidasi data penelitian yang dilakukan. Proses pirolisis dilakukan dengan pemanasan elektrik serta menggunakan reaktor *type fixed bed* dengan suhu pemanasan 500°C yang skema alatnya dapat dilihat pada Gambar 1.



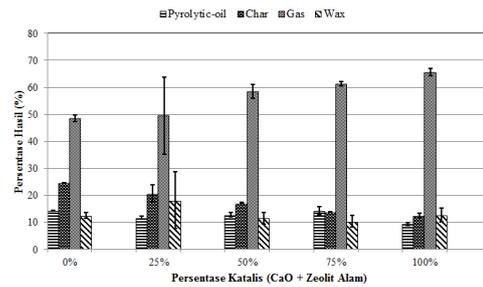
Gambar 1. Skema alat pirolisis.

### Pengujian Karakteristik *Pyrolytic-oil*

Setelah didapat minyak pirolisis selanjutnya dilakukan pengujian karakteristik sifat-sifat fisik dan kimia *pyrolytic-oil* tersebut. Pengujian sifat fisik meliputi pengujian densitas, viskositas dan nilai keasaman (pH), sedangkan sifat kimia meliputi pengujian nilai kalor dan senyawa penyusun.

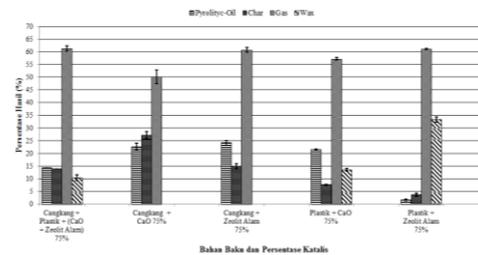
### 3. Hasil dan Pembahasan Pengaruh Katalis Terhadap Kuantitas Produk Pirolisis.

Pengaruh katalis terhadap kuantitas produk pirolisis dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3. Terlihat pada Gambar 2 bahwa secara keseluruhan penambahan katalis (CaO + Zeolit alam) yang semakin banyak akan berpengaruh terhadap menurunnya produk arang (*char*) yang disertai peningkatan produk gas secara kontinyu. Meningkatnya produk gas disebabkan oleh akibat penambahan katalis, menurut Dickerson, (2013) peran katalis akan banyak memproduksi gas CO dan CO<sub>2</sub> melalui reaksi dekarbonisasi dan dekarboksilasi.



Gambar 2. Kuantitas Produk Pirolisis.

Efek penambahan katalis yang semakin banyak akan menyebabkan dekomposisi bahan semakin tinggi, sehingga proses pirolisis pada temperatur pemanasan yang sama akan menyebabkan pengeluaran volatil pada bahan semakin optimal. Keseluruhan peristiwa ini berdampak pada sisa hasil arang semakin sedikit sedangkan produk gasnya akan semakin meningkat. Selain Gambar 2, disajikan juga data hasil pengujian pirolisis masing-masing bahan dengan penambahan masing-masing katalis sebanyak 75% yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Kuantitas Produk Pirolisis.

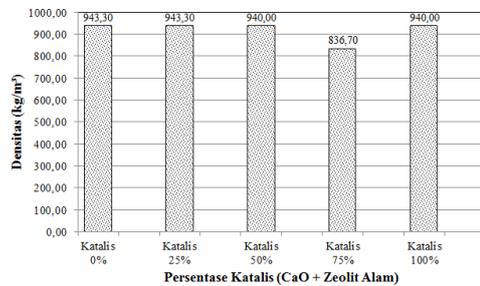
Gambar 3 memperlihatkan bahwa pada pirolisis cangkang sawit dengan katalis CaO 75% maupun katalis Zeolit alam 75% tidak menghasilkan wax. Peristiwa tidak adanya wax ini dikarenakan pada proses pirolisis cangkang sawit terjadi dekomposisi secara keseluruhan tanpa adanya hambatan.

Sedangkan pada pirolisis plastik dengan penambahan katalis Zeolit alam 75% menghasilkan produk *pyrolytic-oil* yang sangat kecil jika dibandingkan dengan penambahan katalis CaO 75% yaitu masing-masing sebesar 1,70% dan 21,50%. Keberadaan wax ini disebabkan oleh adanya dekomposisi plastik yang lebih cepat berada pada bagian plastik yang dekat dengan permukaan katalis. Sementara plastik di sekitarnya belum terdekomposisi dan

baru meleleh. Peristiwa ini akan menyebabkan lelehan plastik terbawa oleh pengeluaran volatil plastik tersebut, sehingga lelehan plastik akan menempel pada dinding pipa pengeluaran produk pirolisis dan membeku serta akan berubah wujud menjadi wax.

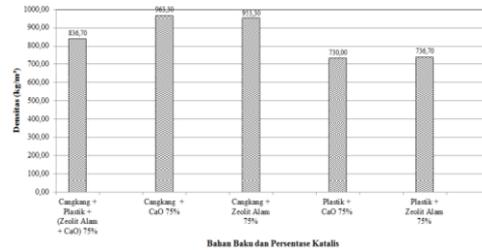
**Pengaruh Katalis Terhadap Densitas *Pyrolytic-oil***

Densitas (massa jenis) merupakan pengukuran massa per satuan volume pada suatu fluida cair. Pengaruh katalis terhadap densitas *pyrolytic-oil* dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Densitas *Pyrolytic-oil*.

Gambar 4 memperlihatkan bahwa produk *pyrolytic-oil* dari proses pirolisis campuran cangkang sawit dan plastik menghasilkan nilai densitas terendah berada pada penambahan katalis (CaO + Zeolit alam) 75% yaitu sebesar 836,70 kg/m<sup>3</sup>. Menurut Juliansyah (2017) perbedaan nilai densitas pada *pyrolytic-oil* dipengaruhi oleh banyaknya jumlah kandungan senyawa hidrokarbon dan oksigenat, hal ini dikarenakan senyawa oksigen memiliki massa atom (O) yang lebih besar dari pada massa atom hidrogen (H) dan karbon (C). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada persentase katalis 75% paling optimal dalam menghasilkan senyawa hidrokarbon serta optimal dalam mengurangi kandungan oksigenat terutama dalam mengurangi kadar air sehingga densitasnya rendah. Selain Gambar 4, disajikan juga data hasil pengujian densitas dari pirolisis masing-masing bahan dengan penambahan masing-masing katalis sebanyak 75% yang dapat dilihat pada Gambar 5.

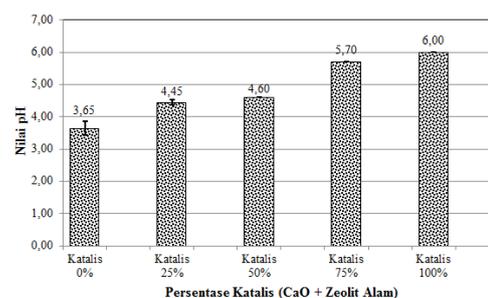


Gambar 5. Densitas *Pyrolytic-oil*.

Gambar 5 menunjukkan bahwa *pyrolytic-oil* dari pirolisis cangkang sawit memiliki nilai densitas lebih besar jika dibandingkan dengan pirolisis berbahan plastik. Hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan kandungan senyawa penyusun pada kedua bahan, dimana bahan cangkang sawit memiliki kandungan selulosa dan lignin cukup tinggi (Abnisa dkk, 2013), sehingga pada saat selulosa dan lignin pada cangkang sawit terdekomposisi akan menghasilkan *pyrolytic-oil* yang didominasi oleh senyawa oksigenat berupa asam dan phenol, dimana senyawa oksigenat memiliki massa atom (O) yang besar dan akan berpengaruh terhadap nilai densitas *pyrolytic-oil* (Juliansyah, 2017). Sementara itu plastik merupakan senyawa polimer yang unsur penyusun utamanya karbon (C) dan hidrogen (H) (Surono, 2013), sehingga pada saat pendekomposisi plastik pada proses pirolisis akan menghasilkan *pyrolytic-oil* yang didominasi oleh senyawa hidrokarbon.

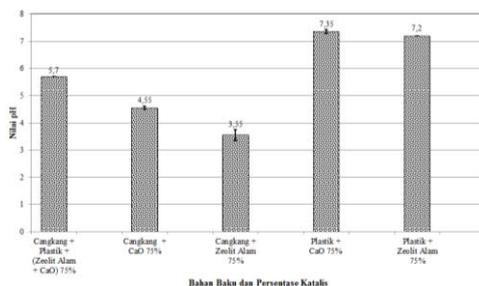
**Pengaruh Katalis Terhadap Keasaman *Pyrolytic-oil***

Pengaruh katalis terhadap keasaman *pyrolytic-oil* dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7. Terlihat pada Gambar 6 bahwa semua *pyrolytic-oil* tergolong dalam larutan asam, karena nilai pH dibawah 7,0.



Gambar 6. Nilai pH *pyrolytic-oil*.

Gambar 6 juga memperlihatkan bahwa semakin banyak persentase katalis (CaO + Zeolit alam) akan semakin berfungsi baik dalam mengurangi kandungan asam produk *pyrolytic-oil* yang ditandai dengan semakin naiknya nilai pH. Fenomena ini disebabkan oleh aktivitas katalis CaO dalam merubah senyawa asam menjadi kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dan keton melalui reaksi *neutralisation*. Sementara pada katalis Zeolit alam juga terjadi reaksi penghilangan senyawa asam dan pembentukan senyawa hidrokarbon melalui reaksi *decarboxylation*. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Sihabudin (2018) bahwa seiring dengan penambahan persentase katalis CaO yang semakin banyak maka kandungan senyawa asam *pyrolytic-oil* akan semakin berkurang. Hasil penelitian pirolisis yang serupa juga dilakukan oleh Wardana (2016) bahwa peran katalis Zeolit alam pada pirolisis campuran cangkang sawit dan plastik dapat berfungsi baik dalam mereduksi kandungan oksigen yang berdampak pada turunnya kandungan senyawa asam. Selain Gambar 6, disajikan juga data hasil pengujian nilai pH dari pirolisis masing-masing bahan dengan penambahan masing-masing katalis sebanyak 75% yang dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Nilai pH *pyrolytic-oil*

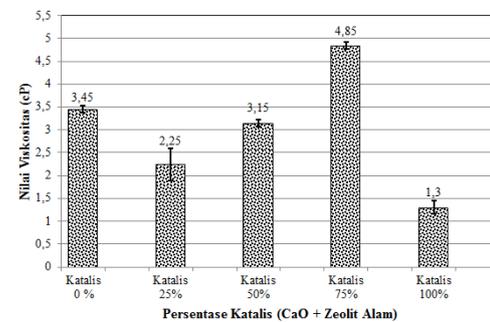
Gambar 7 menunjukkan bahwa pirolisis cangkang sawit dengan penambahan katalis CaO 75% maupun Zeolit alam 75% keduanya menghasilkan produk *pyrolytic-oil* yang bersifat asam. Hal ini dikarenakan kandungan selulosa pada cangkang sawit saat terdekomposisi akan menghasilkan senyawa asam. Sementara pada pirolisis plastik dengan penambahan katalis CaO 75% maupun Zeolit alam 75% didapat nilai pH sebesar 7,35 dan 7,20. Pada peristiwa ini menandakan bahwa *pyrolytic-oil*

tersebut termasuk dalam larutan basa, karena nilai pH lebih dari 7,0.

Berdasarkan Gambar 6 dapat disimpulkan bahwa aktivitas katalis CaO lebih optimal dibanding katalis zeolit alam dalam mereduksi kandungan senyawa asam, hal ini disebabkan karena katalis berbahan CaO memiliki reaksi netralisasi yang lebih tinggi sedangkan katalis berbahan zeolit alam memiliki reaksi dekarboksilasi yang aktivitasnya lebih rendah dari katalis CaO. Hal ini hampir serupa dengan penelitian yang dilakukan oleh Lu dkk (2010) bahwa katalis CaO memiliki performa lebih optimal dalam mengurangi kandungan asam dibanding dengan katalis lain berbahan MgO,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , NiO maupun ZnO.

### Pengaruh Katalis Terhadap Viskositas *Pyrolytic-oil*

Pengujian viskositas penting dilakukan karena bahan bakar cair yang terlalu tinggi (kental) akan sulit untuk mengalir pada saluran bahan bakar serta sulit untuk dikabutkan pada ruang bakar kendaraan. Pengaruh katalis terhadap viskositas *pyrolytic-oil* dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9.

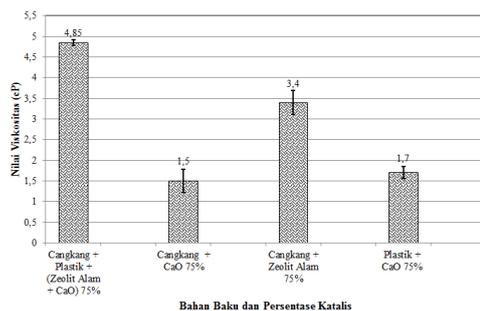


Gambar 8. Viskositas *Pyrolytic-oil*.

Gambar 8 memperlihatkan bahwa produk *pyrolytic-oil* dari hasil pirolisis campuran cangkang sawit dan plastik bersifat fluktuatif, namun nilai viskositas tertinggi berada pada ersentase katalis (CaO + Zeolit alam) 75% yaitu sebesar 4,85 cP. Hal ini dikarenakan adanya senyawa hidrokarbon rantai panjang yang terdekomposisi oleh katalis menjadi cair dan kemudian tercampur pada *pyrolytic-oil*, sehingga *pyrolytic-oil* ini memiliki nilai viskositas tinggi. Nilai viskositas tinggi ini apabila dilihat secara fisik bahwa *pyrolytic-oil* pada persentase

ini memiliki karakteristik sifat yang non-homogen, dimana terdapat dua lapis cairan yang encer dan kental. Sehingga pada saat pengujian viskositas tercampur hasil viskositasnya menjadi tinggi.

Selain Gambar 8, disajikan juga data hasil pengujian viskositas dari pirolisis masing-masing bahan dengan penambahan masing-masing katalis sebanyak 75% yang dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Viskositas *Pyrolytic-oil*.

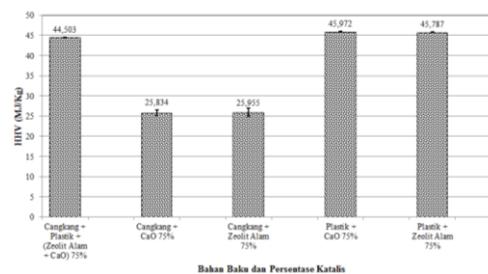
Gambar 9 memperlihatkan bahwa produk *pyrolytic-oil* dari pirolisis cangkang sawit dengan penambahan katalis CaO 75% memiliki nilai viskositas lebih rendah dibanding dengan katalis Zeolit Alam 75% yaitu sebesar 1,50 cP dan 3,40 cP. Hal ini disebabkan oleh perbedaan rantai panjang dan pendek pada senyawa oksigenat, dimana pada *pyrolytic-oil* dengan katalis CaO didominasi oleh senyawa oksigenat rantai pendek sebesar 99,99% sehingga nilai viskositasnya rendah.

Selanjutnya pada *pyrolytic-oil* dari pirolisis plastik dengan penambahan katalis CaO 75% menghasilkan nilai viskositas sebesar 1,70 cP. Sementara pada penambahan katalis Zeolit alam 75% tidak dilakukan pengujian viskositas, karena jumlah *pyrolytic-oil* tidak mencapai 75ml sebagai jumlah minimum pengujian viskositas.

#### Pengaruh Katalis Terhadap Nilai Kalor *Pyrolytic-oil*

Pengujian nilai kalor dimaksudkan untuk mengetahui besar kecilnya nilai kalor yang dimiliki oleh masing-masing *pyrolytic-oil*, sehingga nantinya dapat disesuaikan dengan nilai kalor sebagaimana dimiliki bahan bakar pada umumnya.

Pengaruh persentase katalis terhadap nilai kalor *pyrolytic-oil* dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Nilai Kalor *Pyrolytic-oil*

Gambar 10 memperlihatkan bahwa pada pirolisis campuran cangkang sawit dan plastik hanya satu sampel yang dapat diuji kalor, yaitu berada pada campuran cangkang sawit dan plastik dengan persentase katalis (CaO + Zeolit alam) 75% menghasilkan nilai kalor sebesar 44,503 MJ/kg. Sementara pada persentase katalis 0%, 25% 50% dan 100% tidak dapat diuji kalor karena kandungan senyawa penyusunnya didominasi oleh kadar air sedangkan kandungan hidrokarbonnya sangat kecil sehingga sulit untuk terbakar oleh alat *Bomb Calorimeter*.

Besar kecilnya nilai kalor dipengaruhi oleh seberapa banyak golongan hidrokarbon yang terkandung dalam *pyrolytic-oil*. Menurut Lu dkk (2010) bahwa katalis CaO akan mendorong pembentukan Hidrokarbon dan *Cyclopentanones*, dimana semakin banyak golongan senyawa tersebut akan menghasilkan minyak pirolisis dengan nilai kalor yang semakin tinggi. Teori ini dapat dibuktikan dengan mengkorelasikan data pengujian nilai kalor dengan data pengujian senyawa penyusun pada Tabel 1, dimana kandungan senyawa hidrokarbon paling banyak (89,60%) berada pada pirolisis berbahan plastik dengan katalis CaO 75% dengan menghasilkan nilai kalor tertinggi sebesar 45,972 MJ/kg.

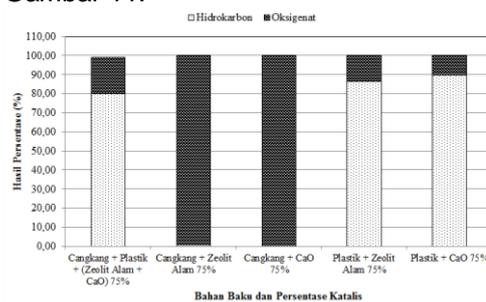
#### Pengaruh Katalis Terhadap Senyawa Penyusun *Pyrolytic-oil*

Pengujian senyawa penyusun dilakukan dengan menggunakan alat GC-MS (*Gas Chromatography Mass Spectrometry*) tipe QP2010 Shimadzu. Hasil pengujian GC-MS dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 11.

Tabel 1. Komposisi Senyawa Penyusun *Pyrolytic-oil*.

Golongan	Senyawa	Ikatan	Cangkang + Plastik + (Zeolit alam + CaO) 75%	Cangkang + CaO 75%	Cangkang + Zeolit alam 75%	Plastik + CaO 75%	Plastik + Zeolit alam 75%
			(%) Area	(%) Area	(%) Area	(%) Area	(%) Area
Hidrokarbon	Alifiatik	Alkana	23,80	0	0,41	39,96	53,16
		Alkena	32,26	0	0	43,17	24,27
		Alkuna	0,00	0	0	0	0,40
	Siklik	Alkana	3,79	0	0	3,25	6,95
		Alkena	1,63	0	0	0,86	0,21
		Alkuna	0,00	0	0	0	0
	Aromatik	11,83	0	0	1,93	1,21	
	PAH	6,74	0	0	0,43	0,24	
	<b>Jumlah</b>	<b>80,05</b>	<b>0</b>	<b>0,41</b>	<b>89,60</b>	<b>86,44</b>	
	Oksigenat	Alkohol	10,49	1,96	0	8,37	11,81
Asam		2,51	28,63	35,23	0	0,48	
Keton		2,53	4,13	3,25	1,60	0,91	
Akhalid		0,52	0	0	0	0	
Phenol		2,67	56,12	58,94	0	0	
Ester		0,00	0	0	0	0	
Furan		0,19	9,15	2,18	0,44	0,39	
Glycol		0,00	0	0	0	0	
<b>Jumlah</b>		<b>18,91</b>	<b>99,99</b>	<b>99,60</b>	<b>10,41</b>	<b>13,59</b>	
<b>Jumlah Total</b>		<b>98,96</b>	<b>99,99</b>	<b>100,01</b>	<b>100,01</b>	<b>100,03</b>	

Tabel 1 memperlihatkan pada pirolisis campuran cangkang sawit dan plastik dengan katalis (CaO + Zeolit alam) 75% menghasilkan senyawa aromatik yang cukup banyak. Hal ini diduga adanya reaksi deoksigenasi dari katalis CaO dalam mengubah senyawa phenol menjadi senyawa aromatik. Selain itu pada proses pirolisis cangkang sawit dengan katalis zeolit alam 75% dapat menghasilkan golongan hidrokarbon alkana sebesar 0,41%. Hal ini diidentifikasi dengan penambahan katalis zeolit alam terjadi reaksi dekarboksilasi, dimana pada reaksi tersebut terjadi perubahan senyawa asam menjadi senyawa alkana. Selain pada Tabel 1, hasil pengujian senyawa penyusun juga dapat dilihat melalui grafik yang disajikan pada Gambar 11.



Gambar 11. Komposisi Senyawa Penyusun *Pyrolytic-oil*

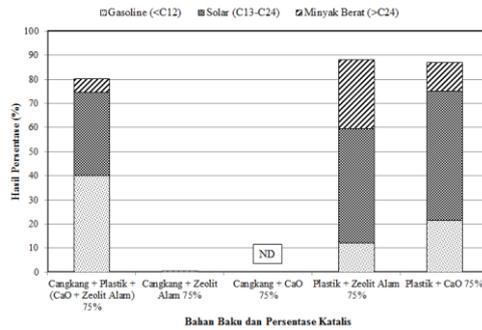
Gambar 11 memperlihatkan bahwa lima sampel *pyrolytic-oil* memiliki susunan senyawa yang berbeda-beda, adapun perbedaan ini disebabkan oleh jenis bahan baku yang digunakan. Terlihat pada sampel *pyrolytic-oil* dari pirolisis berbahan cangkang sawit didominasi oleh kandungan senyawa oksigenat.

Fenomena ini disebabkan karena bahan cangkang sawit memiliki komponen penyusun berupa selulosa, hemiselulosa dan lignin, dimana pada saat pirolisis berlangsung maka ketiga komponen penyusun cangkang sawit tersebut akan terdekomposisi dan menghasilkan senyawa oksigenat. Menurut Raju (2016) kandungan selulosa pada cangkang sawit akan terdekomposisi pada temperatur 275°C - 350°C dan menghasilkan uap yang dapat terkondensasi menjadi produk keluaran berupa asam. Sementara itu hemiselulosa yang terdekomposisi pada suhu 150°C - 350°C hanya akan menghasilkan gas yang terbuang karena tidak dapat terkondensasi. Sedangkan komponen lignin yang terdekomposisi pada temperatur 200°C - 500°C akan menghasilkan senyawa berbentuk cincin *benzene* yang berikatan dengan gugus OH, sehingga produk keluarannya berupa phenol. Gambar 11 juga memperlihatkan pada sampel *pyrolytic-oil* dari pirolisis berbahan plastik didominasi oleh kandungan senyawa hidrokarbon. Hal ini dikarenakan komponen penyusun utama material plastik terdiri atas hidrogen dan karbon. Menurut Syamsiro (2015) pada saat material plastik terdegradasi termal tanpa adanya kehadiran oksigen atau yang disebut pirolisis, maka plastik tersebut akan menghasilkan minyak pirolisis dengan dominan atas senyawa hidrokarbon.

### Penggolongan Unsur Hidrokarbon *Pyrolytic-oil*

Penggolongan unsur hidrokarbon dimaksudkan untuk dapat diketahui rentang nilai karbon (C) yang terkandung dalam *pyrolytic-oil* apakah termasuk dalam rentang nilai karbon bahan bakar gasoline, solar ataupun minyak berat. Penggolongan unsur hidrokarbon diklasifikasikan menjadi tiga kelompok, yaitu berdasarkan pengklasifikasian rantai karbon bahan bakar gasoline (<C12), bahan bakar solar (C13-C24) dan minyak berat (>C24).

Penggolongan unsur hidrokarbon pada lima sampel *pyrolytic-oil* dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Penggolongan Unsur Hidrokarbon *Pyrolytic-oil*

Gambar 12 memperlihatkan bahwa unsur hidrokarbon (C) pada *pyrolytic-oil* dari pirolisis campuran cangkang sawit dan plastik dengan penambahan katalis (CaO + Zeolit alam) 75% memiliki rantai hidrokarbon bahan bakar gasoline sebanyak 40,02%, solar sebanyak 34,38% dan minyak berat sebanyak 5,65%. Kemudian unsur karbon pada *pyrolytic-oil* dari pirolisis cangkang sawit dengan katalis Zeolit Alam 75% hanya memiliki rentang unsur hidrokarbon gasoline sebesar 0,4%, sedangkan dengan penambahan katalis CaO 75% tidak menghasilkan unsur karbon (C) karena semua senyawa yang dihasilkan termasuk golongan oksigenat.

Kemudian rantai hidrokarbon (C) pada *pyrolytic-oil* dari pirolisis plastik dengan katalis CaO 75% memiliki rantai hidrokarbon sebagaimana dimiliki bahan bakar gasoline sebanyak 21,19%, solar sebanyak 53,74% dan minyak berat sebanyak 11,90%, selanjutnya dengan penambahan katalis Zeolit alam 75% menghasilkan *pyrolytic-oil* dengan rantai hidrokarbon sebagaimana dimiliki oleh bahan bakar gasoline sebanyak 11,87%, solar 47,61% dan minyak berat sebanyak 28,41%.

Data yang disajikan pada Gambar 12 dapat ditarik kesimpulan, bahwa produk *pyrolytic-oil* dari pirolisis campuran cangkang sawit dan plastik dengan penambahan katalis (CaO + Zeolit alam) 75% memiliki rantai karbon yang didominasi pada bahan bakar gasoline dan solar, sedangkan produk *pyrolytic-oil* dari pirolisis plastik dengan penambahan katalis CaO maupun Zeolit alam didominasi oleh unsur karbon sebagaimana dimiliki oleh bahan bakar solar. Sehingga sangat memungkinkan *pyrolytic-oil* ini kecenderungannya dapat

digunakan sebagai bahan bakar solar untuk kendaraan bermesin diesel. Hal ini tentu mempertimbangkan beberapa parameter seperti nilai densitas, viskositas serta besar kecilnya nilai kalor yang dimilikinya agar dapat digunakan sebagai bahan bakar yang tepat serta dapat terbakar pada ruang bakar kendaraan secara optimal.

#### 4. Kesimpulan

Penelitian tentang pengaruh persentase katalis CaO-Zeolit alam pada pirolisis campuran cangkang sawit dan plastik telah dilakukan. Semakin banyak persentase katalis memperlihatkan pengaruh terhadap peningkatan produk gas dan penurunan sisa arang secara kontinyu. Sementara produk wax dan produk cair bersifat fluktuatif, namun didapat parameter optimal berada pada persentase katalis (CaO + Zeolit alam) 75%. Berdasarkan pengujian sifat fisik *pyrolytic-oil* diperoleh nilai densitas sebesar 836,70 kg/m<sup>3</sup>, nilai pH 5,70, viskositas 4,85 cP, sedangkan pengujian sifat kimia diperoleh nilai kalor sebesar 44,503 MJ/kg. Pengujian senyawa penyusun dengan GC-MS juga memperlihatkan bahwa penambahan katalis dapat menghilangkan senyawa asam dan pembentukan golongan hidrokarbon alkana.

#### Daftar Pustaka

- Abnisa, F., & Daud, W. A. 2013. Optimization of Fuel Recovery Through The Stepwise Co-pyrolysis of Palm Shell And Scrap Tire. *Energy Conversion and Management*. Volume 99, pp. 334-345.
- Bambang. 2017. *Statistik Perkebunan Kelapa Sawit Indonesia 2015-2017*. Direktorat Jenderal Perkebunan.
- Basu, P., 2013. *Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction : Practical Design and Theory*. United kingdom: Academic Press.
- Dickerson, Theodore dan Soria, Juan. 2012. Catalytic Fast Pyrolysis. *Energies*. Volume 6, pp. 514-538.
- Habibati. 2014. *Kajian Potensi Produk Pirolisis Limbah Padat Kelapa Sawit*. Aceh : Program Studi Kimia Universitas Syiah Kuala Banda Aceh.

- Haji, Abdul Gani. 2013. Komponen Kimia Asap cair Hasil Pirolisis Lambat Padat Kelapa Sawit. *Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, Volume 9 No. 3, pp. 109-116.
- Jambeck, Jenna R., dkk. 2015. *Plastic Waste Input From Land Into The Ocean*. Science 347 (6223). 768-771.
- Juliansyah. 2017. *Pengaruh Persentase Campuran Cangkang Sawit dan Plastik Pada Pirolisis Berkatalis CaO Terhadap Sifat Fisik dan Kimia Pyrolytic Oil*. Yogyakarta : Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Lu, Qiang., Zhang, Z. F., Dong, C. Q., & Zhu, X. F. Catalytic Upgrading of Biomass Fast Pyrolysis Vapors with Nano Metal Oxides: An Analytical Py-GC/MS Study. *Energies*. Volume 3 pp. 1805-1820.
- Priyanto, Unggul. 2017. *Outlook Energi Indonesia 2017*. Jakarta: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- Raju, 2016. *Analisis Energi Proses Pirolisis Limbah Kelapa Sawit*. Bogor: Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Sihabudin, R. 2018. *Pengaruh Persentase Katalis CaO Pada Pirolisis Campuran Cangkang Sawit dan Plastik Terhadap Sifat Fisik dan Kimia Pyrolytic Oil*. Yogyakarta : Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Sirait, H. S. P. 2016. *Analisis Kandungan Bio-oil Hasil Pirolisis Limbah Cangkang Kelapa Sawit Berdasarkan Variasi Temperatur*. Yogyakarta: Program Studi Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada.
- Surono, U. B. 2013. Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak. *Teknik*, Volume 3 No. 1, pp. 32-40.
- Syamsiro, M. 2015. Kajian Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Kualitas Produk Minyak Hasil Pirolisis Sampah Plastik. *Jurnal Teknik*, Volume 5 No. 1, pp. 2088-3676.
- Wang, D., Xiao, R., Zhang, H., & He, G. (2010). Comparison of Catalytic Pyrolysis of Biomass with MCM-41 and CaO Catalysts by Using TGA-FTIR Analysis. ELSEVIER, Hal. 171-177.
- Wardana, N. Y., Caroko, N. & Thoharudin. 2016. Pirolisis Lambat Campuran Cangkang Sawit Dan Plastik Dengan Katalis Zeolit Alam. *Teknokin*, Volume 22 No. 5, pp. 361-36