

PENGARUH PERSENTASE CAO DAN ZEOLIT ALAM SEBAGAI KATALIS PADA PIROLISIS CAMPURAN CANGKANG SAWIT DAN PLASTIK TERHADAP SIFAT FISIK DAN KIMIA PYROLYTIC OIL

Suharko^a, Thoharudin^b, Muhammad Nadjib^c.

^{a,b,c} Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jl. Brawijaya, Kasihan, Bantul, Yogyakarta 55183, Indonesia
+62 274 387656

e-mail : Suharko.umy@gmail.com^a, Thoharudin@gmail.com^b, nadjibar@yahoo.com^c.

Intisari

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh persentase CaO dan zeolit alam sebagai katalis pada proses pirolisis menggunakan bahan baku plastik dan cangkang sawit terhadap sifat fisik dan kimia *pyrolytic oil*. Pengujian pirolisis menggunakan alat *pyrolyzer* berjenis *fixed bed* beserta sumber panas berasal dari *heater* dengan suhu 500 °C. Bahan baku total yang digunakan sebesar 600 g dengan persentase plastik 50%, cangkang sawit 50%. Sementara itu katalis total yang digunakan sebesar 425 g dengan persentase CaO dan zeolit alam sebesar 0%:100%, 25%:75%, 50%:50%, 75%:25% dan 100%:0%. Produk hasil pirolisis berupa *pyrolytic oil* dilakukan uji densitas, nilai pH, viskositas, nilai kalor dan uji senyawa penyusun (GCMS). Hasil penelitian menunjukkan dengan pencampuran katalis CaO dan zeolit alam pada proses pirolisis akan memperbaiki kualitas dari *pyrolytic oil* yang dihasilkan. Dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan campuran katalis (CaO dan zeolit alam) *pyrolytic oil* yang dihasilkan memiliki nilai densitas rendah, nilai kalor tinggi serta nilai pH tinggi (bersifat basa). Komposisi campuran katalis CaO dan zeolit alam yang memberikan sifat optimal diperoleh pada variasi sampel CaO 50% : zeolit alam 50%. Karakteristik yang dihasilkan diantaranya nilai densitas 836,70 kg/m³, keasaman 7,45 pH, viskositas 4,85 cP, nilai kalor 44,503 MJ/kg, serta uji menggunakan GCMS menunjukkan kandungan senyawa hidrokarbon 80,05% dan oksigenat 18,91%.

Kata Kunci : Pirolisis, *Pyrolytic oil*, Cangkang sawit, Plastik, CaO, zeolit alam, GCMS

1. Pendahuluan

Kelangkaan bahan bakar pada setiap tahunnya mengharuskan terciptanya energi terbarukan yang dapat mengatasi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Terbukti di Indonesia pada tahun 1995 yang semula menghasilkan minyak kurang lebih 1.600.000 Barrel/Day menjadi sekitar 789.000 Barrel/Day pada tahun 2014 mengalami penurunan yang signifikan (Said, 2015). Energi terbarukan terkhususnya bahan bakar dapat diciptakan dari tumbuhan ataupun pengolahan limbah yang memiliki bahan pokok berasal dari minyak bumi. Dikembangkan dari segi potensi limbah cangkang sawit sebagai bahan organik, plastik sebagai bahan anorganik.

Cangkang kelapa sawit pada analisa menggunakan *proximate* mengandung karbon 50,73%, Oksigen 40,83%, hidrogen 5,97%, Nitrogen

0,36% dan sulfur 0,06%, kemudian pada uji *ultimate* mengandung abu 2,05%, *volatile* 75,21% dan *fixed carbon* 22,74% (Juliansyah, 2017). Sementara itu plastik memiliki kandungan senyawa penyusun pokok hidrogen dan karbon. Plastik jenis LDPE pada uji *proximate* mengandung kadar air 0,02% *volatile solid* 99,83%, kadar abu 0,15% dan nilai kalor 4,5 kal/g (Juliansyah, 2017).

Upaya dalam memaksimalkan potensi yang ada pada limbah cangkang kelapa sawit dan plastik agar dapat bermanfaat serta memiliki nilai jual yang lebih tinggi, perlu dilakukannya penanganan khusus agar produk yang dihasilkan bermutu tinggi. Penanganan yang tepat dalam hal ini adalah dilakukannya proses pirolisis. Pirolisis merupakan proses dekomposisi kimia bahan organik maupun anorganik melalui

pemanasan dengan tanpa adanya oksigen (Basu, 2013). Selama proses pirolisis, polimer pada kandungan bahan baku (cangkang sawit dan plastik) akan terurai menjadi molekul yang lebih kecil dan sederhana. Produk hasil pirolisis berupa molekul gas, cairan, arang dan wax, semua produk tersebut sangat bergantung pada faktor yang terlibat terhadap proses pirolisis yang akan mempengaruhi kualitas dan kuantitas produk. Faktor yang berpengaruh terhadap pirolisis adalah temperatur, *resident time* (waktu tinggal) dan *heating rate* (laju pemanasan).

Hasil produk pirolisis yang dituju berupa *liquid* yaitu *pyrolytic oil*, namun mayoritas *pyrolytic oil* dari hasil pirolisis mengindikasikan kualitas rendah karena memiliki kandungan air, oksigen dan keasamaan yang tinggi (Wardana, 2016). Faktor yang berpengaruh terhadap pirolisis merupakan indikator yang dapat dijadikan parameter dalam memperbaiki kualitas *pyrolytic oil*. Dalam hal ini penanganan yang dilakukan untuk mengatasi parameter tersebut, pada proses pirolisis ditambahkan zat yang ramah lingkungan dan memiliki peran yang sangat baik dalam memperbaiki kualitas *pyrolytic oil* yaitu penambahan katalis dalam proses pirolisis. Katalis adalah suatu zat yang dapat meningkatkan laju reaksi (Nindita, 2015). Hal ini akan mengurangi energi aktivasi yang dibutuhkan dalam proses kimia pada pirolisis. Perkembangan katalis sangat pesat sehingga katalis memiliki banyak variasi, salah satu katalis tersebut yaitu katalis CaO dan zeolit alam.

Katalis CaO dapat diperoleh dengan proses kalsinasi CaCO₃ dimana senyawa tersebut banyak terkandung pada kulit telur. Pembuatan katalis CaO melalui proses kalsinasi (Santoso, 2013). Manfaat katalis CaO pada proses pirolisis berguna dalam mengurangi kadar Anhidromat dan Fenol serta menghilangkan senyawa asam sehingga dapat mengurangi tingkat korosi yang ada pada minyak hasil pirolisis. Sementara itu dapat meningkatkan pembentukan hidrokarbon, siklopentanon serta beberapa senyawa

ringan (Lu dkk, 2010). Mekanisme reaksi kimia katalis CaO meliputi reaksi netralisasi, *thermal cracking* dan *catalytic cracking* (Wang dkk, 2010).

- 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 merupakan produk hasil dari pegunungan berapi dimana pembentukannya meliputi proses pembekuan menjadi batuan vulkanik, batuan metamorfosa serta batuan sedimen yang kemudian mengalami proses pelapukan akibat pengaruh dingin dan panas sehingga akhirnya terbentuk mineral-mineral zeolit. Unsur zeolit tersusun atas tiga komponen yaitu kation yang dapat dipertukarkan atau logam Alkali [Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra], kerangka Aluminasilikat [(AlO₂).(SiO₂)] dan air [H₂O] (Lestari, 2010). Mekanisme reaksi kimia katalis zeolit alam meliputi reaksi dehidrasi, dekarbonilasi, dekarboksilasi dan aromatisasi (Dickerson, 2013).

- 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 baku yang digunakan yaitu cangkang kelapa sawit dan plastik. Pengujian ini, cangkang kelapa sawit yang dibutuhkan sebesar 3 kg pada 10 kali pengujian dengan masing-masing variasi pengujian sebesar 300 g. Sebelum digunakan pengujian cangkang tersebut dijemur terlebih dahulu untuk menghilangkan kelembaban pada cangkang. Sementara itu plastik yang digunakan berjenis LDPE, tergolong dalam bentuk kantong plastik sehingga dicacah terlebih dahulu hingga ukuran 3-5 cm.

Katalis yang digunakan terdiri dari dua jenis yaitu katalis CaO dan zeolit

alam di mana katalis tersebut dicampur kedalam bahan baku (Cangkang dan Plastik) hingga rata dengan persentase campuran sesuai dengan variasi pengujian yaitu, 0:100%, 25:75%, 50:50%, 75:25%, 100:0%.

Percobaan Proses Pirolisis

Setelah bahan dan alat sudah disiapkan, pengujian bisa dilakukan. Tahapan pertama adalah mencampur bahan baku (cangkang dan plastik) dengan katalis sesuai variasi uji, kemudian bahan yang sudah tercampur tersebut dimasukan kedalam reaktor berkapasitas 1 kg berjenis *fixed bed*. Reaktor yang sudah terisi dihubungkan dengan water jacket untuk diletakan kedalam tungku pemanas setelah itu hidupkan pyrolizer serta hubungkan termocouple terhadap panel. Untuk memulai pengujian nyalakan saklar pada panel kemudian *heater* menyala.

Heater yang digunakan dua buah yaitu *heater spiral* pada bagian samping reaktor serta *heater radiant* pada bagian bawah reaktor berkapasitas total 3000 W. Pengujian dilakukan hingga temperatur 500 °C dengan dicatat perubahan suhu setiap 2 menit sekali hingga selesai. Indikator pengujian pirolisis berakhir adalah target suhu 500 °C serta berhentinya asap dan minyak pirolisis yang keluar dari pipa water jacket.

Pengujian Pyrolytic Oil

Hasil uji pirolisis berupa *pyrolytic oil*, arang, gas serta *wax*, dari hasil tersebut hanya *pyrolytic oil* yang dilakukan pengujian lanjut. Pengujian meliputi uji densitas, viskositas, nilai kalor, tingkat keasaman, susunan kandungan senyawa. Mengukur kuantitas *pyrolytic oil* untuk mengetahui jumlah yang dihasilkan pada setiap pengujian serta uji densitas guna mengetahui massa jenis dari bio-oil hasil pirolisis yang diperoleh.

Pengujian viskositas menggunakan alat *Brookfield Viscometer Digital DV-II + PRO* yang berada di laboratorium Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian Fakultas FTP Universitas Gadjah Mada. Pengujian keasaman menggunakan alat *PEN TYPE PH METER 009(1)A*.

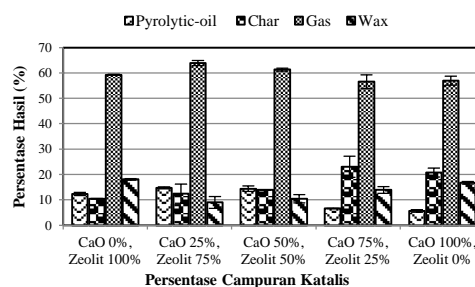
Pengujian nilai kalor menggunakan alat kalorimeter dengan Model 6050 *Compensated Jacket Calorimeter* yang berada di laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

GCMS merupakan salah satu metode yang digunakan dalam mengetahui kandungan senyawa pada *pyrolytic oil*. Mesin GCMS yang digunakan berjenis QP2010 SHIMADZU, spesimen *pyrolytic oil* yang digunakan tidak semua variasi di uji namun hanya variasi yang bisa dibakar saja yaitu variasi campuran bahan baku (cangkang dan plastik) dengan katalis CaO dan zeolit alam 25%:75%, 50%:50%, 75%:25%. Pengujian GCMS dilakukan di laboratorium MIPA Universitas Islam Indonesia.

3. Hasil dan Pembahasan

Kuantitas Produk Hasil Pirolisis

Kuantitas ini merupakan parameter jumlah dari massa *pyrolytic oil*, arang(*char*), gas dan *wax* terhadap hasil dari proses pirolisis. Terlihat pada Gambar 1 menunjukkan kuantitas hasil dari pirolisis. Dalam proses pirolisis ada beberapa metode yang telah diterapkan untuk meningkatkan minyak hasil pengujian dan salah satunya adalah *catalytic cracking*, kunci masalah metode ini ada pada pemilihan katalis yang sesuai (Lu dkk, 2010).



Gambar 1. Kuantitas Produk Pirolisis

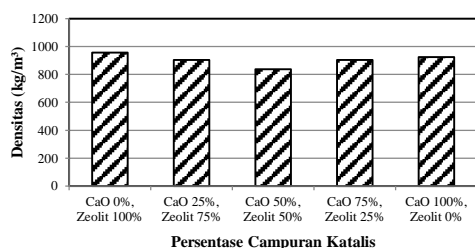
kuantitas *pyrolytic oil* optimum terletak pada campuran katalis CaO 50%, zeolit alam 50% dengan persentase sebesar 14,4%. Hal ini dipengaruhi oleh laju reaksi yang lebih tinggi karena penggunaan katalis terutama laju reaksi katalis zeolit alam dan katalis CaO, sehingga memungkinkan kandungan volatil pada

bahan baku dapat dikeluarkan secara maksimal. Berkurangnya kuantitas arang disebabkan oleh katalis yang mampu mereaksikan lebih banyak zat-zat yang terkandung pada bahan baku sehingga setelah proses pirolisis berat arang menjadi berkurang.

Menurut Syamsiro (2015) akibat meningkatnya fraksi gas disebabkan oleh fraksi minyak yang dihasilkan dari termal cracking telah dipecah menggunakan katalis (catalytic cracking) sehingga rantai panjang karbonnya dipotong menjadi rantai yang lebih pendek. Penggunaan komposisi dua katalis yang seimbang antara katalis CaO dan zeolit alam menghasilkan wax lebih sedikit. Hal ini karena reaksi yang terjadi lebih banyak akibat penggabungan reaksi katalis CaO dengan zeolit alam, dapat dilihat pada nilai viskositasnya yang tinggi akibat dekomposisi wax.

Densitas *Pyrolytic Oil*

Massa jenis atau biasa disebut densitas ialah besarnya massa per satuan volume (g/ml atau kg/m³). Perlu dilakukan pengujian densitas terhadap *pyrolytic oil* hasil pirolisis dengan tujuan mengetahui massa jenisnya dimana berpengaruh pada tempat penyimpanan terhadap volumenya. Ukuran volume penyimpanan bahan bakar diketahui, dapat memudahkan dalam perancangan pembuatan wadah penyimpanan.



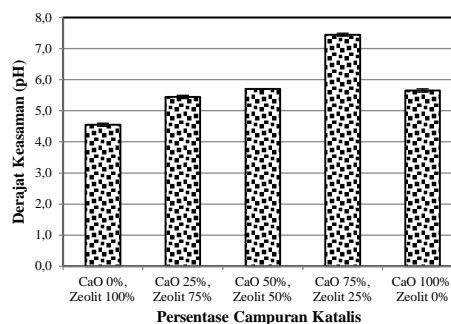
Gambar 2. Kuantitas *Pyrolytic Oil*

Densitas dapat dikaitkan dengan nilai kalor bahwa semakin tinggi densitas maka nilai kalor akan semakin rendah. Berdasarkan Gambar 2 densitas paling tinggi terletak pada campuran katalis CaO 0%, zeolit alam 100% dengan nilai sebesar 956,70 kg/m³. Hal ini disebabkan oleh banyaknya kandungan air yang tinggi akibat reaksi dehidrasi pada katalis zeolit yang banyak

meghasilkan senyawa H₂O. Banyaknya kandungan air (H₂O) dibuktikan dengan tidak bisa dilakukan uji nilai kalor pada sampel ini.

Keasamaan *Pyrolytic Oil*

Derajat keasaman atau disebut juga nilai pH diperuntukan dalam menyatakan tingkat keasaman atau tingkat basa yang dimiliki oleh suatu larutan. Tingkatan derajat pH berada pada nilai 0 sampai 14. Tingkat keasamaan atau basa yang tinggi akan mengakibatkan *pyrolytic oil* memiliki sifat korosi yang tinggi. Hal ini akan menyebabkan tingkat korosi terhadap material yang ditimbulkan akibat kontak fisik *pyrolytic oil* sebagai bahan bakar terhadap material di dalam ruang pembakaran atau penyimpanan.



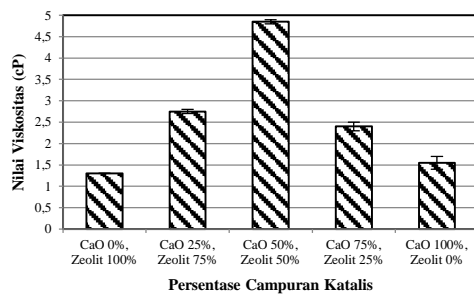
Gambar 3. Nilai pH *Pyrolytic Oil*

Derajat keasaman suatu zat cair dipengaruhi oleh banyaknya kandungan ion hidrogen (H⁺), sedangkan basa dapat diakibatkan oleh banyaknya kandungan ion hidroksida (OH⁻). Kandungan senyawa (H⁺) pada pirolisis dapat di hasilkan melalui proses dekomposisi hidrokarbon. Penggunaan katalis pada pirolisis dalam merengkah suatu senyawa termasuk hidrokarbon disebut *catalytic cracking*.

Berdasarkan Gambar 3 pada campuran katalis CaO 75%, zeolit alam 25% dengan nilai sebesar 7,45 pH. Hal ini disebabkan oleh penggabungan dua reaksi kimia katalis. Pencampuran ini didominasi oleh katalis CaO yang memiliki reaksi *catalytic cracking* lebih kecil dalam menghasilkan ion hidrogen (H⁺). Sementara itu katalis CaO memiliki reaksi kimia netralisasi yang dapat memecah senyawa asam menjadi basa.

Viskositas *Pyrolytic Oil*

Viskositas merupakan ukuran ketahanan fluida terhadap deformasi (perubahan bentuk) akibat tegangan geser atau deformasi sudut (angular deformation) (Sudarja, 2016). Viskositas rendah akan memungkinkan proses injeksi pengkabutannya didalam pembakaran dapat lebih baik dan tenaga yang dihasilkan akan meningkat, sehingga harapannya *pyrolytic oil* yang dihasilkan akan menciptakan pembakaran yang sempurna diruang bakar.



Gambar 4. Nilai Viskositas *Pyrolytic Oil*

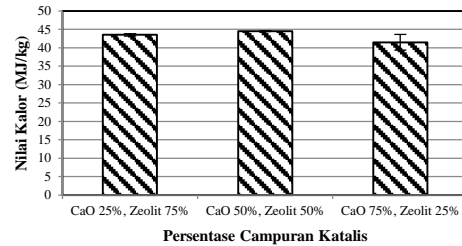
Penelitian Fanani (2013) mendeskripsikan bahwa pada temperatur tinggi (550°C) terjadi pemutusan rantai karbon panjang menjadi pendek, sehingga pada kandungan minyak yang memiliki rantai karbon pendek menyebabkan pergeseran antar lapisan molekul menjadi berkurang serta viskositas rendah.

Berdasarkan Gambar 4 viskositas optimum terletak pada campuran katalis CaO 0%, zeolit alam 100% sebesar 1,30 cP, hal ini selain dari faktor temperatur disebabkan juga oleh *catalytic cracking* serta zeolit alam juga memiliki sifat penyaring/pemisah molekul dimana molekul tersebut melewati pori zeolit sehingga suatu senyawa dapat terpecah menjadi lebih kecil. Campuran katalis CaO 100%, zeolit alam 0% sebesar 1,55 cP cukup rendah. Hal ini dipengaruhi oleh reaksi yang dihasilkan katalis CaO yaitu *catalytic cracking*.

Nilai Kalor *Pyrolytic Oil*

Nilai kalor ialah banyaknya energi panas yang dapat dilepaskan dalam tiap satuan massa. Nilai kalor pada pengujian

ini menggunakan HHV (*High Heating Value*). Pengujian nilai kalor bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai kalor pada *pyrolytic oil* guna menyesuaikan spesifikasi yang sesuai terhadap pemakaian bahan bakar nantinya.



Gambar 5. Nilai Kalor *Pyrolytic Oil*

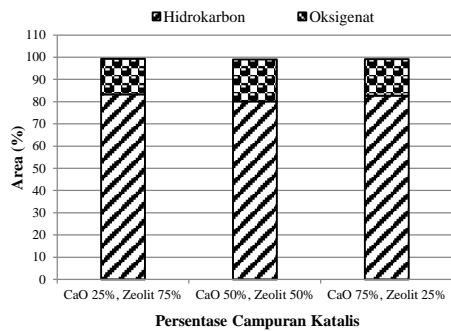
Berdasarkan Gambar 5 nilai kalor paling tinggi terletak pada campuran katalis CaO 50%, zeolit alam 50% yaitu sebesar 44,503 MJ/kg, hal ini di dukung pada kandungan hidrokarbonnya tinggi pada pengujian GCMS dan memiliki nilai densitas rendah. Katalis CaO dapat meningkatkan pembentukan Hidrokarbon dan *Cyclopentanones* dimana golongan senyawa tersebut mampu meningkatkan nilai kalor (Lu dkk, 2010).

Penelitian Wardana (2016) menunjukkan bahwa penggunaan katalis zeolit alam mampu mereduksi komponen oksigen sehingga menghasilkan CO (reaksi dekarbonilasi) dan CO₂ (reaksi dekarboksilasi) dapat dilihat pada persamaan 2.2 dan 2.3, kemudian meningkatkan golongan phenol, alkana dan alkena. Dapat disimpulkan bahwa *pyrolytic oil* dengan nilai kalor yang tinggi akan memiliki kandungan senyawa hidrokarbon yang banyak.

Susunan Senyawa Hidrokarbon dan Oksigenat *Pyrolytic Oil*

Gambar 6 menunjukkan susunan senyawa terhadap hasil uji GCMS. Senyawa hidrokarbon paling optimum pada campuran katalis CaO 25%, zeolit 75% dengan persentase 83,35% senyawa. Plastik merupakan bahan baku penyumbang golongan hidrokarbon paling banyak. Hal ini disebabkan plastik terbuat dari naptha, tersusun oleh kandungan senyawa karbon dan hidrogen (Sari, 2017). Senyawa

oksigenat paling optimum pada campuran katalis CaO 50%, zeolit 50% dengan persentase 18,91% senyawa. Golongan senyawa oksigenat banyak dihasilkan dari cangkang sawit. Hal ini disebabkan oleh cangkang sawit memiliki komponen senyawa penyusun lignin, selulosa dan hemiselulosa yang termasuk dalam senyawa polisakarida (unsur penyusun karbon, hidrogen dan oksigen).



Gambar 6. Kuantitas Senyawa Hidrokarbon dan Oksigenat Pyrolytic Oil

Komposisi Senyawa Pyrolytic Oil

Gas pirolisis pada penggunaan bahan baku plastik akan mengandung senyawa aromatik (benzena, toluena, xilena, etil benzena dan stirena (Sari, 2017). Sementara itu katalis zeolit alam meningkatkan jumlah senyawa PAH dengan jumlah area hasil uji GCMS sebesar 6,78%. Senyawa PAH meningkat karena zeolit alam memiliki mekanisme reaksi aromatisation (pembentukan sistem aromatik). Gas hasil pirolisis terhadap bahan baku cangkang sawit akan menghasilkan banyak kandungan oksigenat, salah satu oksigenat tersebut adalah senyawa phenol yang merupakan senyawa berasal dari lignin.

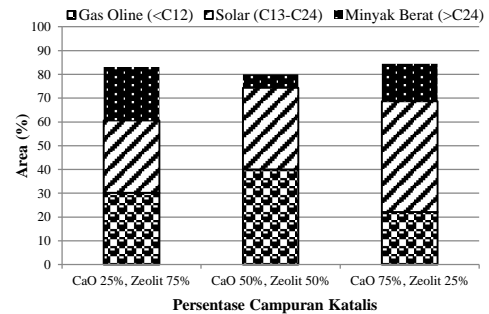
Sementara itu senyawa asam juga terbentuk disini karena kandungan selulosa dan hemiselulosa yang terdapat di cangkang sawit. Peran katalis CaO dan zeolit alam dapat mengoptimalkan senyawa yang terdapat pada bahan baku untuk dikeluarkan dan membentuk senyawa baru terhadap pyrolytic oil yang dihasilkan. Kandungan senyawa kimia yang terdapat pada pyrolytic oil dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Senyawa Pyrolytic Oil

Golongan	Senyawa	Ikatan	CaO 25%, Zeolit 75%	CaO 50%, Zeolit 50%	CaO 75%, Zeolit 25%
			(%) Area	(%) Area	(%) Area
Hidrokarbon	Alifatik	Alkana	42,72	23,8	40,54
		Alkena	21,67	32,26	29,85
		Alkuna	1,41	0	0
	Siklik	Alkana	1,28	3,79	1,95
		Alkena	0,78	1,63	0,62
		Alkuna	0	0	0
	Aromatik	8,71	11,83	4,76	
	PAH	6,78	6,74	5	
Jumlah	83,35	80,05	82,72		
Oksigenat	Alkohol	7,81	10,49	7,86	
	Asam	0	2,51	1,24	
	Keton	5,35	2,53	4,24	
	Aldehid	0,26	0,52	0,45	
	Phenol	2,45	2,67	2,69	
	Ester	0	0	0	
	Furan	0	0,19	0	
	Glycol	0	0	0	
Jumlah	15,87	18,91	16,48		
Jumlah Total	99,22	98,96	99,2		

Penggolongan Unsur Karbon Pyrolytic Oil

Hasil uji kandungan senyawa dengan GCMS dapat digolongkan unsur karbonnya berdasarkan banyaknya atom C dalam setiap senyawa. penggolongan unsur karbon dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Penggolongan Unsur Karbon Pyrolytic Oil

Gambar 7 menunjukkan grafik penggolongan unsur karbon terhadap pyrolytic oil hasil pirolisis, dimana hasil optimum ada pada campuran katalis CaO 50%, zeolit 50% terdiri dari gas oline sebanyak 40,02% area, solar sebanyak 34,38% area serta minyak berat sebanyak 5,65% area. Menurut Syamsiro (2015) keberadaan suatu katalis dalam pirolisis mampu memperbesar puncak selektivitas serta merubahnya menjadi atom yang lebih kecil, sehingga hal ini dapat meningkatkan kandungan senyawa karbon pada fraksi bensin (gas oline) serta menurunkan fraksi solar dan minyak berat.

Minyak hasil kondensasi pirolisis plastik tergolong kedalam jenis paraffin, isoparaffin, olefin, naphthene dan aromatik yang merupakan bahan-bahan penyusun bahan bakar pada umumnya, oleh karena itu minyak yang dihasilkan dari pirolisis menyerupai bensin dan solar (Sari,2017).

Perhitungan Neraca Energi

Neraca energi merupakan kesetimbangan energi dalam sebuah sistem, mengacu pada hukum pertama termodinamika. Perhitungan neraca energi diambil pada variasi katalis CaO 50%, zeolit alam 50% dengan massa bahan baku yaitu cangkang 0,3 kg dan plastik 0,3 kg. *Pyrolytic oil* variasi tersebut memiliki nilai kalor hasil pirolisis sebesar 44,5 MJ/kg. Nilai kalor plastik polietilen (LDPE atau HDPE) sebesar 46,5 MJ/kg (Syamsiro, 2015).

$$\begin{aligned} \text{Diketahui : } Q_{pc} &= 44,5 \text{ MJ/kg} & Q_p &= 46,5 \text{ MJ/kg} \\ m_p &= 0,3 \text{ kg} & m_p &= 0,3 \text{ kg} \\ m_c &= 0,3 \text{ kg} & & \end{aligned}$$

Setelah semua parameter diketahui, dapat dilakukan perhitungan neraca energi sebagai berikut :

$$\begin{aligned} E_{Ak} &= E_o - E_i \\ &= [(Q_p \cdot m_p) + (Q_c \cdot m_c)] - [Q_p \cdot m_p] \\ &= [(Q_{pc} (m_p + m_c)) - [Q_p \cdot m_p] \\ &= [(44,5 \text{ MJ/kg} (0,3 \text{ kg} + 0,3 \text{ kg})) - [46,5 \text{ MJ/kg} \times 0,3 \text{ kg}] \\ &= [(44,5 \text{ MJ/kg} (0,6 \text{ kg})) - [46,5 \text{ MJ/kg} \times 0,3 \text{ kg}] \\ &= 26,7 \text{ MJ} - 13,95 \text{ MJ} \\ &= 12,75 \text{ MJ} \end{aligned}$$

Perhitungan neraca energi bernilai positif yaitu sebesar 12,75 MJ. Mengindikasikan bahwa pengujian ini tidak merugikan karena energi yang dihasilkan lebih besar dibandingkan bahan baku awal plastik tanpa proses pirolisis.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang telah didapatkan pada proses penelitian, pengambilan data serta pengolahan data terhadap penggunaan katalis CaO dan zeolit alam. Disimpulkan bahwa dengan penambahan campuran katalis (CaO dan zeolit alam) akan memperbaiki kualitas *pyrolytic oil* yang dihasilkan, antara lain

memiliki nilai densitas rendah, nilai kalor tinggi serta nilai pH tinggi (bersifat basa).

Komposisi campuran katalis CaO dan zeolit alam yang memberikan sifat optimal diperoleh pada variasi sampel CaO 50% : zeolit alam 50%. Karakteristik yang dihasilkan diantaranya nilai densitas 836,70 kg/m³, keasaman 7,45 pH, viskositas 4,85 cP, nilai kalor 44,503 MJ/kg, serta uji menggunakan GCMS menunjukkan kandungan senyawa hidrokarbon 80,05% dan oksigenat 18,91%.

Daftar Pustaka

Basu, P. (2013). *Bimass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction*. United Kingdom: Academic Press.

Dickerson, T., & Soria, J. (2013). *Catalytic Fast Pyrolysis*. *Energies*, Vol. 06, 514-538.

Fanani, Z. (2013). *Regenerasi Katalis Ni-Zeolit Alam Aktif Untuk Hidrocracking Minyak Jarak Pagar*. Semirata FMIPA Unsila, 469-476.

Juliansyah. (2017). *Pengaruh Presentase Campuran Cangkang Sawit dan Plastik pada Pirolisis Berkatalis CaO terhadap Sifat Fisik dan Kimia Pyrolytic Oil*. *Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*.

Lu, Q., Zhang, Z.-F., Dong, C.-Q., & Zhu, X.-F. (2010). *Catalytic Upgrading of Biomass Fast Pyrolysis Vapors with Nano Metal Oxides : An Analytical Py-GC/MS Study*. *Energies*, Volume 3, pp. 1805-1820.

Lestari, D. Y. (2010). *Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam dari Berbagai Negara*. *Juridik Kimia UNY*.

Nindita, V. (2015). *Studi Berbagai Metode Pembuatan BBM Dari Sampah Plastik Jenis LDPE dan PVC Dengan Metode Thermal & Catalytic Cracking (Ni-Cr/Zeolit)*. *TEKNIS*, Vol. 10 No.3 Hal.137-144.

Said, S. (2015). *Rencana Strategis Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral*. Jakarta: Kementerian ESDM.

Santoso, H. (2013). Pembuatan Biodiesel Menggunakan Katalis Basa Heterogen Berbahan Dasar Kulit Telur. Bandung: Universitas Katolik Prahayangan .

Sari, G. L. (2017). Kajian Potensi Pemanfaat Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Cair. Teknik Lingkungan, Vol.3 No.1 : 6-13.

Sudarja. (2016). Mekanika Fluida : Bahan Kuliah Teknik Mesin. Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Syamsiro, M. (2015). Kajian Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Kualitas Produk Minyak Hasil Pirolisis Sampah PLastik. 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. Teknoin, Volume 22 No. 5, pp. 361-366.