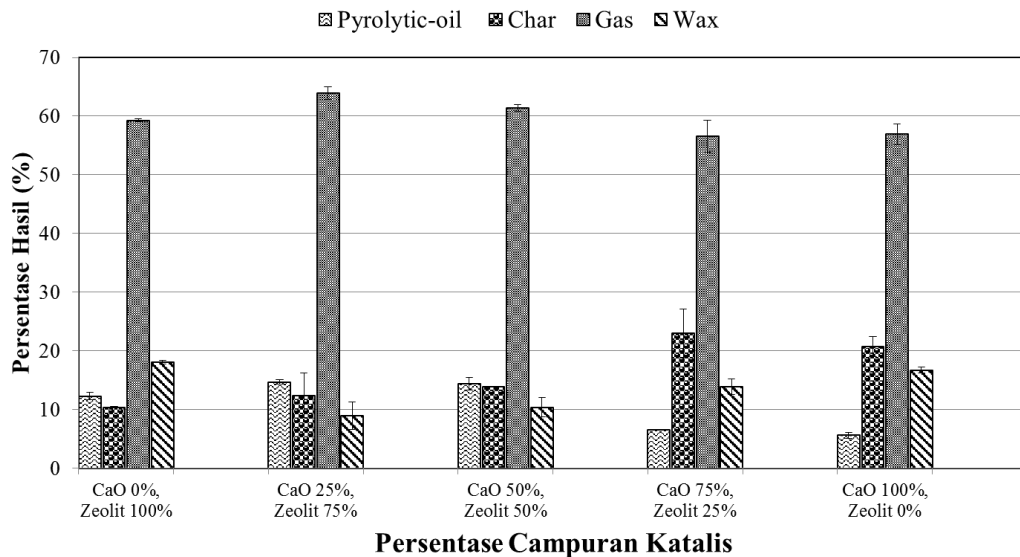


BAB 4 PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Persentase Campuran Katalis CaO dan Zeolit Alam Terhadap 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 4.1 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 4.1 Perbandingan Kuantitas Produk *Pyrolytic-oil*, *Char*, Gas serta *Wax*.

Gambar 4.1 merupakan grafik perbandingan kuantitas hasil pirolisis terhadap campuran katalis CaO dan zeolit alam. Menurut penelitian Sirait (2016) bahwa banyaknya kandungan volatil yang terdapat pada umpan (bahan baku) dapat meningkatkan kuantitas *pyrolytic oil* yang dihasilkan. Grafik hasil produk pirolisis yang memiliki 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. Dalam menghitung kuantitas dari *pyrolytic oil* menggunakan persamaan 3.3.

Hasil pirolisis berupa *char* atau arang pada katalis CaO 50%, zeolit alam 50% sebesar 13,9%, ini mendeskripsikan bahwa katalis CaO dan zeolit alam membuat arang hasil pirolisis semakin sedikit. 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. Dalam menghitung persentase arang menggunakan persamaan 3.4.

Produk hasil pirolisis berupa gas yang tidak bisa terkondensasi ini menempati posisi yang cukup besar terhadap pengujian pirolisis. Gas pada campuran katalis CaO 50%, zeolit alam 50% sebesar 61,3%. 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. Dalam menghitung persentase gas menggunakan persamaan 3.5.

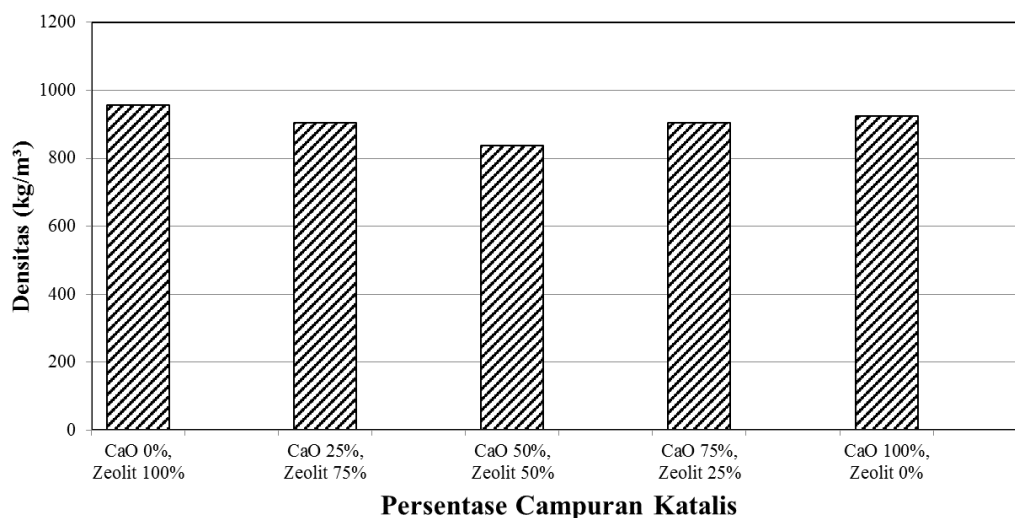
Produk pirolisis yang memiliki rantai karbon panjang akan memiliki sifat fisik lebih kental dan akan cenderung berwujud *wax*. Kuantitas *wax* pada campuran katalis CaO 0%, zeolit alam 100% dengan persentase sebesar 18,05%. Sementara itu pada campuran katalis CaO 100%, zeolit alam 0% dengan persentase sebesar 16,71%. Katalis CaO dan zeolit alam memiliki mekanisme reaksi *catalytic cracking* yang dapat memisahkan senyawa dari suatu unsur serta memecah rantai karbon panjang menjadi rantai karbon pendek, *catalytic cracking* dapat dilihat pada persamaan 2.6. Penggunaan komposisi dua katalis yang seimbang antara katalis CaO dan zeolit alam yaitu pada campuran katalis CaO 50%, zeolit alam 50% menghasilkan *wax* sebesar 10,38%, lebih sedikit *wax* karena reaksi yang terjadi lebih banyak akibat penggabungan reaksi katalis CaO dengan zeolit alam hal ini dapat dilihat pada nilai viskositasnya yang tinggi akibat dekomposisi *wax*.

Gambar 4.1 menunjukkan grafik perbandingan kuantitas produk *pyrolytic-oil*, arang, gas serta *wax* hasil pirolisis. Hasil tersebut menunjukkan bahwa katalis zeolit alam dibanding katalis CaO dapat meningkatkan jumlah *pyrolytic-oil* dan

gas sehingga dapat mengurangi kuantitas arang(*char*). Hal ini mendeskripsikan bahwa reaksi kimia *catalytic cracking* zeolit alam lebih kuat dibanding katalis CaO.

4.2 Pengaruh Persentase Campuran Katalis CaO dan Zeolit Alam Terhadap Densitas *Pyrolytic-oil*

Massa jenis atau biasa disebut densitas ialah besarnya massa per satuan volume (g/ml atau kg/m^3). Perlu dilakukan pengujian densitas terhadap *pyrolytic oil* hasil pirolisis dengan tujuan mengetahui massa jenisnya dimana berpengaruh pada tempat penyimpanan terhadap volumenya. Dalam menghitung nilai densitas *pyrolytic oil* menggunakan persamaan 2.12 atau persamaan 3.1.



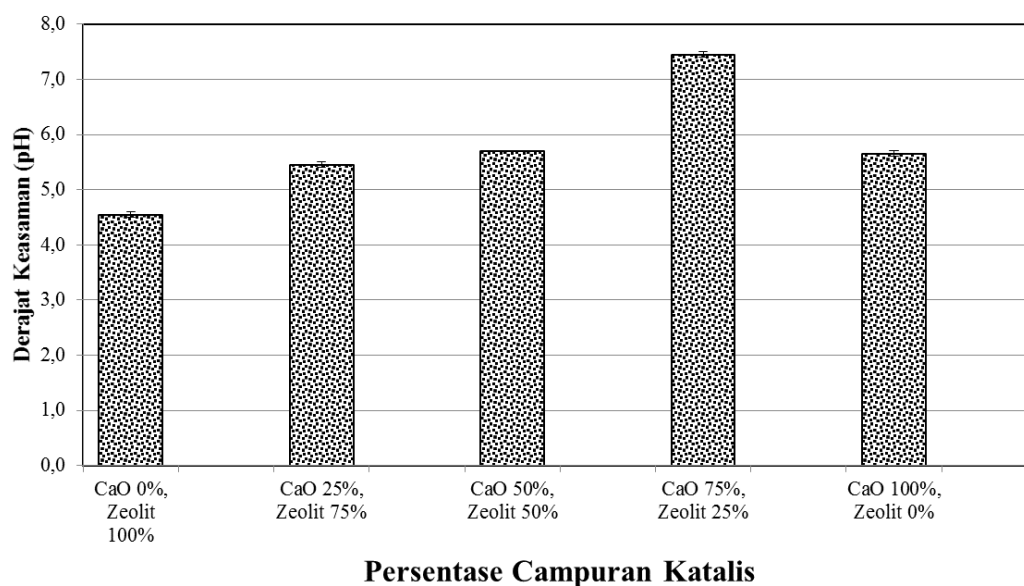
Gambar 4.2. Perbandingan Persentase Campuran Katalis CaO dan Zeolit Alam Terhadap Densitas *Pyrolytic Oil*.

Gambar 4.2 menunjukkan grafik perbandingan densitas *pyrolytic oil* dengan persentase berbeda pada setiap campuran katalis CaO dan zeolit alam. Densitas dapat dikaitkan dengan nilai kalor bahwa semakin tinggi densitas maka nilai kalor akan semakin rendah. Berdasarkan Gambar 4.2 densitas paling tinggi terletak pada campuran katalis CaO 0%, zeolit alam 100% dengan nilai sebesar $956,70 \text{ kg/m}^3$. Hal ini disebabkan oleh banyaknya kandungan air yang tinggi akibat reaksi dehidrasi yang banyak menghasilkan senyawa H_2O , reaksi dehidrasi

dapat dilihat pada persamaan 2.1. Banyaknya kandungan air (H_2O) dibuktikan dengan tidak bisa dilakukan uji nilai kalor pada sampel ini. Sementara itu densitas *pyrolytic oil* paling rendah terletak pada campuran katalis CaO 50%, zeolit alam 50% dengan nilai sebesar $836,70 \text{ kg/m}^3$. Hal ini dipengaruhi oleh nilai kalor tinggi akibat reaksi yang dihasilkan kedua katalis.

4.3 Pengaruh Persentase Campuran Katalis CaO dan Zeolit Alam Terhadap Derajat Keasaman *Pyrolytic-oil*

Derajat keasaman atau disebut juga pH diperuntukan dalam menyatakan tingkat keasaman atau tingkat basa yang dimiliki oleh suatu larutan. Tingkatan derajat pH berada pada nilai 0 sampai 14. Tingkat keasaman yang tinggi akan membawa efek negatif pada sifat-sifat *pyrolytic oil*, karena sifatnya yang korosif dan efek dalam mempercepat penuaan *pyrolytic oil* (Lu dkk, 2010). Hasil pengukuran pH *pyrolytic oil* hasil pirolisis dapat dilihat pada Gambar 4.3.



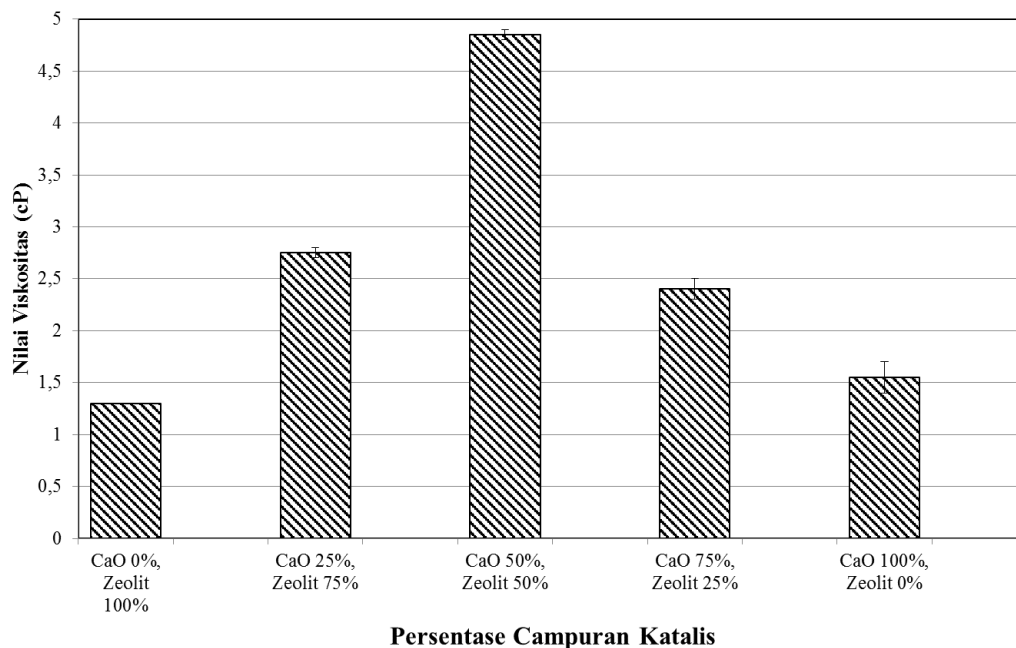
Gambar 4.3. Perbandingan Persentase Campuran Katalis CaO dan Zeolit Alam Terhadap Derajat Keasaman *Pyrolytic Oil*.

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 4.3 pada campuran katalis CaO 0%, zeolit alam 100% memiliki nilai sebesar 4,55 pH. Sementara itu pada campuran katalis CaO 100%, zeolit alam 0% memiliki derajat keasaman sebesar 5,65 pH. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penggunaan zeolit alam *catalytic cracking* yang dihasilkan dalam memisahkan ion hidrogen (H^+) terhadap ikatan hidrokarbon lebih banyak dibandingkan dengan penggunaan katalis CaO. Penelitian Sihabudin (2018) menyatakan bahwa penambahan jumlah katalis CaO pada pirolisis akan menghasilkan *pyrolytic oil* yang mendekati basa serta katalis CaO sendiri dapat mengurangi senyawa asam yang terkandung pada *pyrolytic oil*. 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, contoh reaksi netralisasi dapat dilihat pada persamaan 2.4.

4.4 Pengaruh Persentase Campuran Katalis CaO dan Zeolit Alam Terhadap Nilai Viskositas *Pyrolytic-oil*

Viskositas merupakan nilai tingkat kekentalan suatu fluida cair. Tujuan dilakukannya pengujian ini karena viskositas bahan bakar berpengaruh pada aliran pipa saluran bahan bakar pada mesin, jika semakin tinggi viskositas maka bahan bakar tersebut semakin kental sehingga dapat menyulitkan distribusi penyaluran bahan bakar. Viskositas rendah tidak menjamin kualitas baik pada bahan bakar, menurut Syamsiro (2015) viskositas yang terlalu rendah akan menyebabkan terjadinya kebocoran injektor. Memperoleh nilai viskositas dinamik juga dapat menggunakan persamaan 2.7.



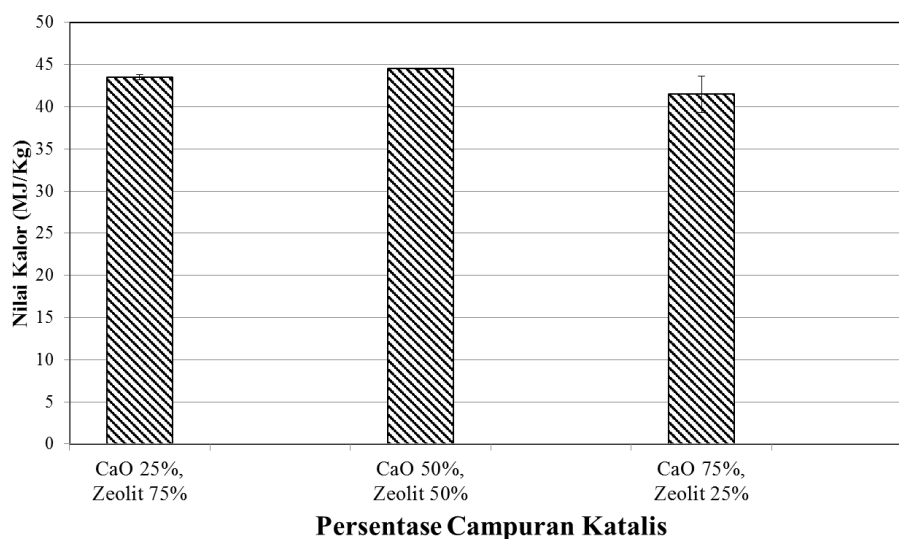
Gambar 4.4. Perbandingan Persentase Campuran Katalis CaO dan Zeolit Alam Terhadap Viskositas *Pyrolytic Oil*.

Gambar 4.4 menunjukkan grafik perbandingan viskositas *pyrolytic oil* dengan persentase berbeda pada setiap campuran katalis CaO dan zeolit alam. Viskositas dipengaruhi oleh rantai karbon panjang pada suatu senyawa yang terkandung dalam *pyrolytic oil*. Penelitian Fanani (2013) mendeskripsikan bahwa pada temperatur tinggi (550°C) terjadi pemutusan rantai hidrokarbon yang panjang menjadi pendek, sehingga pada kandungan minyak yang memiliki rantai hidrokarbon pendek menyebabkan pergeseran antar lapisan molekul menjadi berkurang serta viskositas rendah. Berdasarkan gambar 4.4 viskositas optimum terletak pada campuran katalis CaO 0%, zeolit alam 100% sebesar 1,30 cP, hal ini disebabkan 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*, reaksi ini dapat dilihat pada persamaan 2.6. Sementara itu pada campuran katalis CaO 50%, zeolit 50% memiliki viskositas tinggi sebesar 4,85 cP. Hal ini terjadi akibat penggunaan dua

buah jenis katalis, sehingga menghasilkan reaksi kimia lebih banyak salah satunya *thermal cracking* dan *catalytic cracking* dapat dilihat pada persamaan 2.5 dan 2.6. Reaksi kimia tersebut mampu memecah *wax* menjadi lebih sederhana namun masih tergolong kedalam rantai karbon panjang yang memiliki tingkat kekentalan tinggi.

4.5 Pengaruh Persentase Campuran Katalis CaO dan Zeolit Alam Terhadap Nilai Kalor (HHV) *Pyrolytic-oil*

Nilai kalor ialah banyaknya energi panas yang dapat dilepaskan dalam tiap satuan massa. Pada penelitian ini dilakukan pengujian nilai kalor bertujuan untuk mengetahui kandungan nilai kalor yang terdapat pada *pyrolytic oil*. Memperoleh nilai kalor HHV juga dapat menggunakan persamaan 2.11.



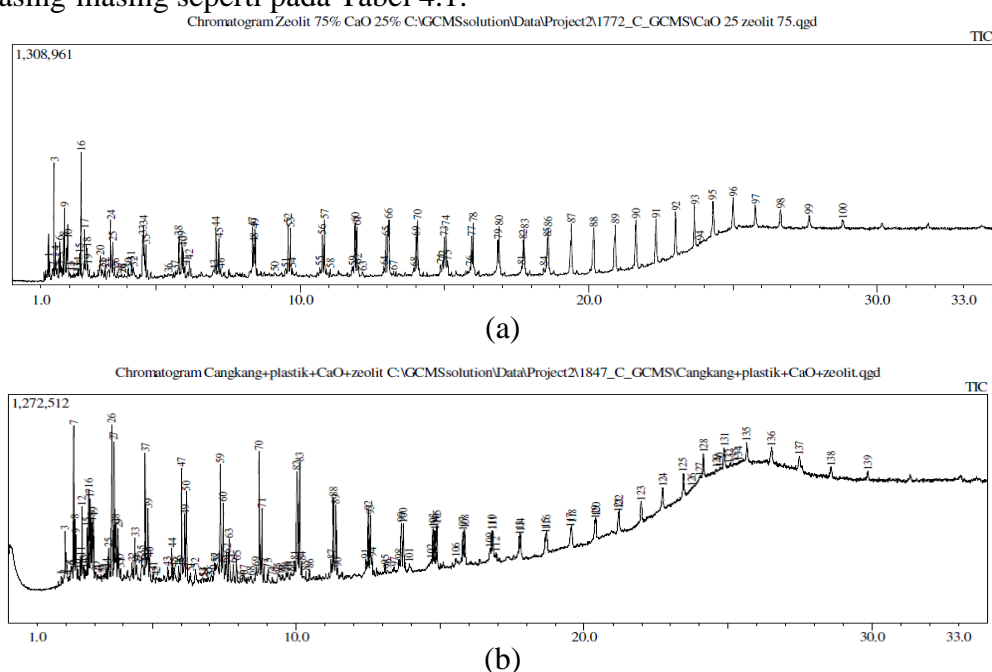
Gambar 4.5. Perbandingan Persentase Campuran Katalis CaO dan Zeolit Alam Terhadap Nilai Kalor *Pyrolytic Oil*.

Plastik merupakan salah satu bahan baku yang dipakai dalam pengujian, plastik memiliki nilai kalor yang sangat tinggi karena berasal dari minyak bumi (Syamsiro, 2015) sehingga dapat meningkatkan nilai kalor pada *pyrolytic oil*. Berdasarkan Gambar 4.5 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

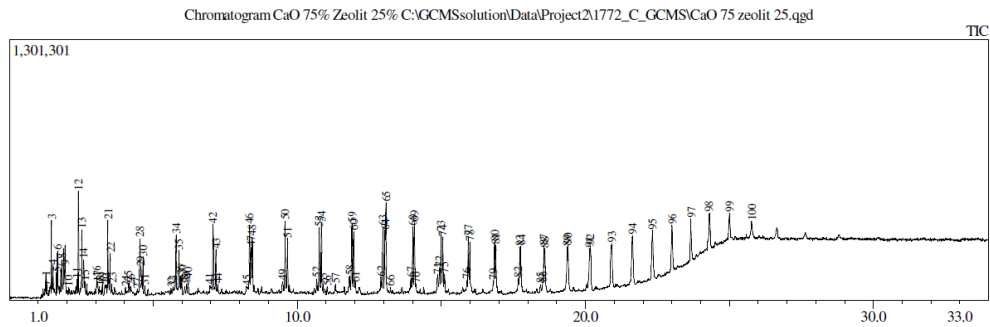
Cyclopentanones dimana golongan senyawa tersebut mampu meningkatkan nilai kalor (Lu dkk, 2010). Penelitian Wardana (2016) menunjukkan bahwa penggunaan katalis zeolit alam mampu mereduksi komponen oksigen sehingga menghasilkan CO (reaksi dekarbonilasi) dan CO₂ (reaksi dekarboksilasi) dapat dilihat pada 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.

4.6 Pengaruh Persentase Campuran Katalis CaO dan Zeolit Alam Terhadap Senyawa Penyusun *Pyrolytic-oil*

Tujuan dilakukannya pengujian menggunakan alat GCMS (*Gas Chromatography Mass Spectrometry*) untuk mengetahui senyawa-senyawa penyusun yang terkandung pada *pyrolytic oil* hasil pirolisis campuran cangkang sawit dan plastik dengan campuran katalis CaO serta zeolit alam. Kandungan yang terdapat pada senyawa *pyrolytic oil* mengandung banyak senyawa, terlihat dari banyaknya peak (senyawa) seperti pada Gambar 4.6. Setelah memperoleh hasil dari pengujian GCMS kemudian dikelompokkan menurut golongan senyawa masing-masing seperti pada Tabel 4.1.



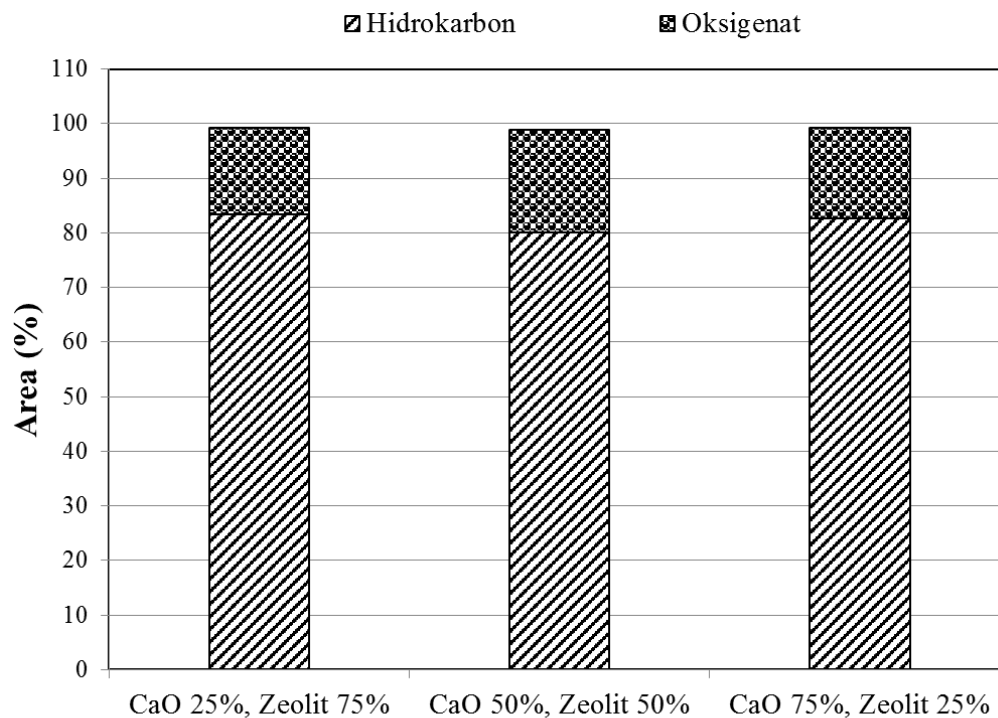
Gambar 4.6 Identifikasi Senyawa Hasil GCMS



(c)

Gambar 4.6 Identifikasi Senyawa Hasil GCMS (Lanjutan)

Menurut Sihabudin (2018) pada pengujian GC-MS hasil senyawa yang didapat jika jumlah puncak senyawa (*peak*) semakin banyak maka senyawa yang terkandung dalam *pyrolytic oil* memiliki jumlah yang banyak juga, sementara itu jika semakin tinggi dan lebar puncak senyawa (*peak*) mengindikasikan bahwa persentase kandungan senyawa pada *pyrolytic oil* besar.

**Persentase Campuran Katalis**

Gambar 4.7 Susunan Senyawa Hidrokarbon dan Oksigenat pada Campuran CaO dan zeolit alam

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa kandungan senyawa yang ada dalam *pyrolytic oil* memiliki komponen hidrokarbon dan oksigenat. 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 di hasilkan 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). Terlihat pada Tabel 4.1 merupakan ikatan senyawa yang terkandung pada hasil *pyrolytic oil*.

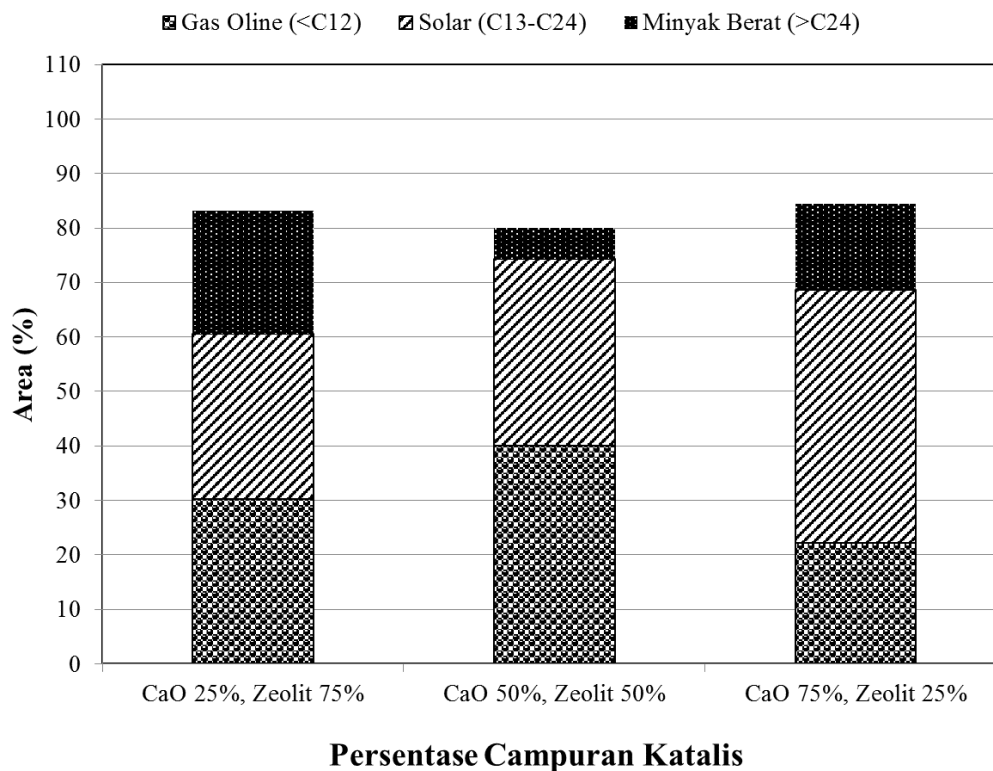
4.1 Komposisi Senyawa dari *Pyrolytic Oil*

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

Gas pirolisis pada penggunaan bahan baku plastik akan mengandung senyawa aromatik (benzena, toluena, xylene, 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.

4.7 Penggolongan Unsur Karbon pada *Pyrolytic Oil*

Semakin panjang ikatan karbon pada *pyrolytic oil* dapat menyebabkan tampilan yang semakin hitam. Gambar 4.7 merupakan penggolongan unsur karbon pada *pyrolytic oil*.



Gambar 4.7 Penggolongan Unsur Karbon pada *Pyrolytic oil*.

Gambar 4.7 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).

4.8 Perhitungan Neraca Energi

Neraca energi merupakan kesetimbangan energi dalam sebuah sistem, mengacu pada hukum pertama termodinamika. Neraca energi tidak memiliki variabel produksi, sehingga yang diperhitungkan hanya nilai kalor dan massanya. Perhitungan 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 diketahui parameternya, dilakukan perhitungan neraca energi yaitu :

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