

Program Studi Teknik Mesin

Lembar Persetujuan Naskah Publikasi dan Abstrak Tugas Akhir (TA)

Judul TA: PENGARUH TEMPERATUR PIROLISIS CAMPURAN CANGKANG SAWIT DAN PLASTIK BERKATALIS CaO-ZEOLIT ALAM TERHADAP SIFAT FISIK DAN KIMIA PYROLYTIC OIL.

Judul Naskah Publikasi: PENGARUH TEMPERATUR PIROLISIS CAMPURAN CANGKANG SAWIT DAN PLASTIK BERKATALIS CaO-ZEOLIT ALAM TERHADAP SIFAT FISIK DAN KIMIA PYROLYTIC OIL.

Nama Mahasiswa: MAULANA WAHYU AYATULLAH

NIM: 20140130119

Pembimbing 1: Thoharudin, S.T., M.T.

Pembimbing 2: Muhammad Nadjib, S.T., M.Eng.

Hal yang dimintakan persetujuan *:

- | | | | |
|---|--|--------------------------------|--------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Indonesia | <input checked="" type="checkbox"/> Naskah Publikasi | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Inggris | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

*beri tanda \checkmark di kotak yang sesuai


Maulana Wahyu Ayatullah

21 Agustus 2018

Persetujuan Dosen Pembimbing dan Program Studi

Disetujui



Thoharudin, S.T., M.T.

21 Agustus 2018

Berli Panpurnia Kamei, S.T., M.Eng Sc., Ph.D

21 Agustus 2018

Formulir persetujuan ini mohon diletakkan pada lampiran terakhir pada naskah TA.

PENGARUH TEMPERATUR PIROLISIS CAMPURAN CANGKANG SAWIT DAN PLASTIK BERKATALIS CaO-ZEOLIT ALAM TERHADAP SIFAT FISIK DAN KIMIA PYROLYTIC OIL.

Maulana Wahyu A^a, Thoharudin^b, Muhammad Nadjib^c

^a Teknik Mesin UMY

Jl. Brawijaya, Kasihan, Bantul, Yogyakarta, Indonesia

Telephon/fax: +62 85240582100

e-mail: Maulana.wahyu.2014@ft.umy.ac.id

Intisari

Pemanfaatan kelapa sawit hampir semua bagiannya dapat digunakan, berbeda dengan cangkang kelapa sawit yang sering menjadi limbah pabrik. Limbah plastik menjadi masalah sampah saat ini masih menjadi limbah yang belum terselesaikan. Oleh karena itu pemanfaat limbah cangkang kelapa sawit dan plastik dapat menggunakan metode pirolisis. Penelitian ini bertujuan mengetahui karakteristik dan sifat dari *Pyrolytic-Oil* hasil dari pirolisis limbah cangkang kelapa sawit dan limbah plastik dengan katalis CaO (*Calcium Oksida*) dan Zeolit.

Produk dianalisis dibagi menjadi 2 yaitu sifat fisik dan sifat kimia *Pyrolytic-Oil*. Sifat fisik meliputi nilai densitas, viskositas dan keasaman, sedangkan sifat kimia yaitu nilai kalor dan senyawa penyusun *Pyrolytic-Oil*. Penelitian ini dilakukan dengan variasi temperatur 400°C, 425°C, 450°C, 475°C dan 500°C dimana reaktor yang digunakan bertipe *Fixed bed*. Komposisi bahan baku yaitu cangkang kelapa sawit 300 gram, plastik 300 gram dan katalis CaO 225 gram, Zeolit Alam 225 gram.

Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi temperatur maka produktivitas *Pyrolytic-Oil* akan semakin tinggi dan menurunnya massa arang dan gas. Nilai densitas terendah pada Temperatur 425°C yaitu sebesar 756,67 Kg/m³, viskositas rendah pada temperatur 475°C yaitu 1,2 cP dan keasaman tertinggi pada Temperatur 425°C sebesar 8,50 pH. Pada sifat kimia nilai kalor tertinggi pada Temperatur 500°C yaitu 44,506 MJ/Kg dan kandungan hidrokabron tertinggi pada temperatur 425°C yaitu 87,98% sementara kandungan oksigenat tertinggi pada temperatur 400°C sebesar 33,34%.

Keywords: *Pirolisis, Cangkang Kelapa Sawit, Plastik, Katalis, Fixed bed*

1. PENDAHULUAN

Tingginya produksi minyak kelapa sawit sebanding dengan limbah produksi yaitu cangkang sawit, dan serabut. Sama halnya dengan sampah plastik menjadi permasalahan dalam penanganan sampah industri di Indonesia. Pemanfaatan cangkang kelapa sawit hanya 5% dari total industry Indonesia atau sekitar 13 metrik ton dalam mobilisasi energi terbarukan. Kedua limbah tersebut memiliki nilai ekonomis melalui proses dengan teknologi yang tepat. Kandungan polimer plastik berasal dari minyak bumi yang terdiri dari kandungan karbon dan hidrogen.

Kandungan polimer yang tinggi cangkang kelapa sawit dan plastik merupakan indikator pemanfaatan dapat diubah menjadi bentuk cair. Nilai kalor yang dihasilkan oleh plastik cukup sebesar 46,4 MJ/kg (Surono, 2013). Pemanfaatan limbah cangkang kelapa sawit berpotensi menjadi biomassa dengan dekomposisi temperatur 300-350°C (Basu, 2010).

Proses pirolisis secara metode yang sederhana dan tidak membutuhkan waktu yang lama untuk menjadi cair dengan metode kondensasi.

Pirolisis merupakan proses termal terjadi dalam ketiadaan oksigen, berbeda dengan pembakaran (*Combustion*). Pirolisis, oksidasi dan

hidrogenisasi merupakan tahap dalam proses pirolisis. Kurangnya efisiensi *Pyrolytic-Oil* yang dihasilkan oleh campuran cangkang kelapa sawit dan plastik dikarenakan kandungan *Pyrolytic-Oil* yang dihasilkan dan ikatan Karbon yang pendek (Basu, 2013).

Katalis merupakan suatu zat untuk mempercepat laju reaksi pada temperatur tertentu, tanpa mengalami perubahan. kalsium oksida (CaO) pada penggunaan katalis sebagai pengurang senyawa asam, membentuk senyawa karbon kemudian ditingkatkan menjadi ikatan rangkap karbon yang panjang.

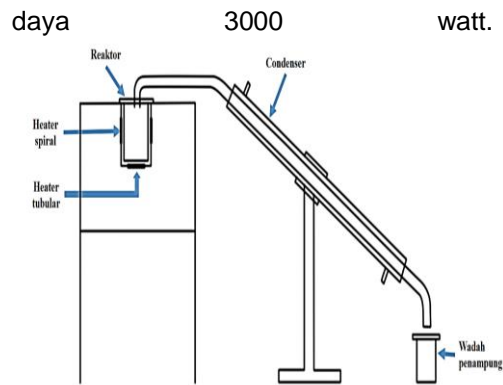
Kelebihan zeolit memiliki tingkat keasaman yang termodifikasi dan memiliki luas permukaan. Pengaruh jumlah zeolite pada pirolisis dengan reaktor berbahan stainless steel mempengaruhi kandungan senyawa aromatis (Sa'diyah, 2015).

2. METODE PENELITIAN.

Nilai kalor cangkang kelapa sawit cukup tinggi yaitu 21-23 MJ/kg (H. Yang, 2014). Dekomposisi cangkang kelapa sawit pada temperatur 150°C. Dekomposisi plastik terjadi pada temperatur 300°C sampai dengan 400°C. Proses dekomposisi plastik tergantung tingkat kekakuan dan elastisitas plastik. Berbagai jenis plastik yang beredar dimasyarakat sesuai penggunaannya (Santoso, 2010).

Pirolisis tidak lepas dari pengaruh temperatur, pirolisis dapat terjadi pada temperatur relatif rendah yaitu 300°C sampai 650°C dibandingkan proses gasifikasi pada temperatur 800°C sampai 1000°C.

Proses pirolisis dilakukan dengan mencampurkan cangkang kelapa sawit dan plastik dipotong dengan ukuran 4-6 cm. Komposisi bahan utama sebesar cangkang dan plastik 500 gr. Zeolit dan CaO ditambahkan dengan persentase 75% dari massa bahan yaitu 450 gr. Massa total dicampurkan dalam reaktor pirolisis dengan diameter 20 cm dan tinggi 20 cm tipe *fixed bed* dapat dilihat pada Gambar 1. Pengaturan temperatur melalui kotak termokontrol. Variasi temperatur pada 400, 425, 450, 475 dan 500°C dengan laju pemanasan rata-rata 3°C /menit. Pemanas berasal dari heater yang mengitari reaktor pirolisis dengan



Keterangan:
 1.Reaktor, 2.Condenser, 3.Heater Spiral, 4.Heater Turbular, 5. Termokontroler.
 Gambar 1. Alat Pengujian

Gas hasil pirolisis kemudian melalui kondensor dengan air sebagai fluida sehingga terjadi pertukaran temperatur. Kondensasi gas menjadi fluida mengalir dalam wadah penampung. Produk pirolisis yaitu *pyrolytic-oil*, arang, gas dan wax. Lakukan pemisahan arang dan katalis kemudian ditimbang. Produk cair pirolisis melalui pengujian nilai kalor, keasaman, densitas, viskositas dan GC-MS. Kandungan senyawa menjadi 2 golongan, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Penggolongan senyawa

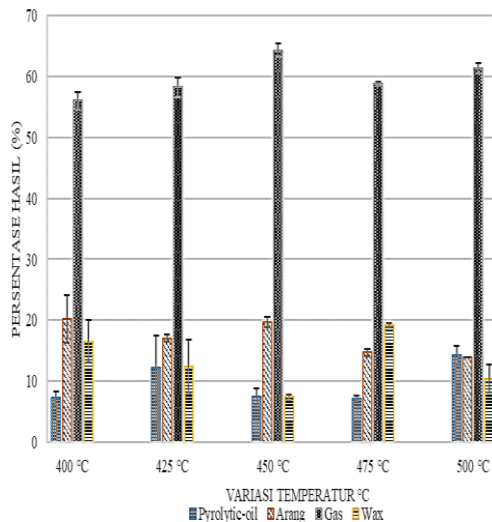
Golongan	Senyawa	Ikatan
Hidrokarbon	PAH	
	Aromatik	
	Alifatik	Alkana
		Alkena
Siklik	Alkana	
	Alkena	
Oksigenat	Alkana	
	Alkena	
	Alkuna	
	Alkohol	
	Asam	
	Keton	
	Aldehid	
Phenol		
Oksigenat	Ester	
	Furan	
	Glycol	

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh temperatur terhadap kuantitas produk pirolisis.

Pirolisis dipengaruhi oleh temperatur maksimal. Semakin tinggi temperatur maka semakin besar produk

gas yang dihasilkan. Kondensasi gas menjadi *Pyrolytic-Oil* searah dengan produk gas yang dihasilkan. Pada Gambar 2 kuantitas produk pirolisis



Gambar 2. Pengaruh temperatur pada kuantitas produk pirolisis.

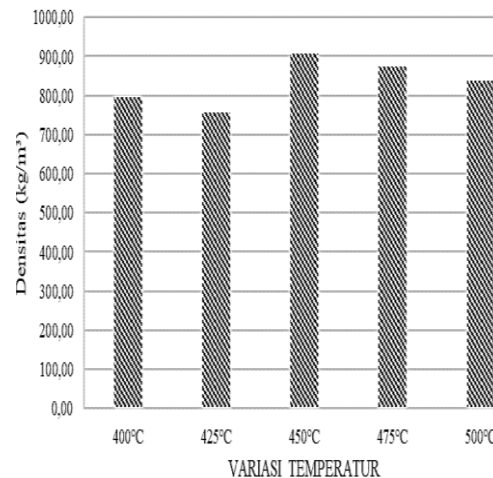
Peningkatan kuantitas dengan tingginya hasil produk gas, hal tersebut karena adanya reaksi sekunder terbentuk akibat reaksi *termal cracking*. *Termal cracking* merupakan pemecahan rantai karbon dan senyawa organik menjadi rantai karbon baru dengan kepengaruh termal pada proses. Reaksi sekunder menghasilkan senyawa baru dimana rantai karbon rendah tidak dapat terkondensasi menjadi *pyrolytic-oil*.

Tingginya produk gas pada penelitian ini terjadi akibat dari *termal cracking* yang terjadi pada permukaan katalis. Reaksi pada permukaan menyebabkan laju reaksi pada permukaan menjadikan plastik terdekomposisi plastik dengan cepat. Dekomposisi plastik ini membentuk senyawa carbon pendek menjadi gas yang tidak dapat terkondensasi. Melting plastik menutupi permukaan cangkang kelapa sawit menyebabkan folatil mendorong melting plastik ke atas menjadi wax.

3.2 Pengaruh Temperatur terhadap Densitas *Pyrolytic-oil*.

Densitas merupakan ukuran massa tiap satuan volume pada suatu benda, densitas dapat disebut juga massa jenis. Variasi temperatur pada proses pirolisis

mempengaruhi densitas *Pyrolytic-Oil* dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh Temperatur pada Densitas *Pyrolytic-oil*

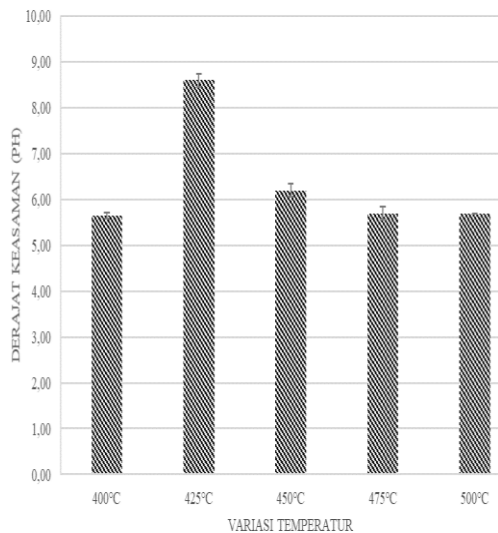
Besar nilai densitas dipengaruhi oleh kandungan golongan oksigenat dari pirolisis dari cangkang kelapa sawit. Kandungan oksigenat pada *pyrolytic oil* menyebabkan massa jenis semakin besar karena struktur hemiselulosa, selulosa dan lignin mulai terdekomposisi diatas temperatur 450°C. Penambahan CaO dan Zeolit alat berfungsi memecah senyawa Oksigen pada rantai Karbon guna mengurangi senyawa oksigenat terkondensasi. Pada penelitian Abnisa (2013) dilakukan pengujian densitas pirolisis cangkang kelapa sawit dan polystyrene sebesar 1051 Kg/M³.

Pengaruh temperatur terhadap densitas juga tidak lepas dari faktor rantai karbon panjang sebagai pembentuk wax/lilin. Senyawa lilin menyebabkan densitas semakin besar dimana rantai karbon yang dibentuk adalah rantai panjang. Pembentukan Wax dimana senyawa asam mengikat rantai karbon panjang. reaksi katalis dalam proses pirolisis memecah oksigen sehingga mengurangi kondensasi senyawa oksigenat yang menyebabkan nilai densitas yang rendah.

3.3 Pengaruh Temperatur pada Keasamaan *Pyrolytic-oil*.

Dekomposisi hemiselulosa dan selulosa yang terdapat pada struktur cangkang kelapa sawit merupakan senyawa utama dalam pembentukan

asam. Pembentukan senyawa asam dimana kandungan rangkap Oksigen ketemu dengan Karbon Monoksida pada satu rantai yang sama. Kandungan OH⁻ pada hemiselulosa dan selulosa terdekomposisi pada temperatur 350°C dan pecah membentuk senyawa basa. pengukuran keasaman ini dilakukan pada *Pyrolytic-Oil* dari proses pirolisis yang dapat dilihat pada Gambar 4.



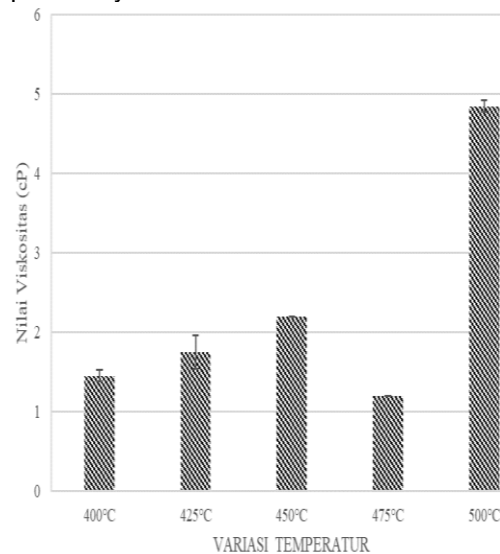
Gambar 4 Pengaruh Temperatur pada Keasaman *Pyrolytic-oil*

Dekomposisi lignin membentuk senyawa alkohol dan phenol dimana pH pada senyawa alkohol pada 7,33 masuk dalam kategori basa terjadi pada temperatur diatas 450°C. Muatan lebih pada senyawa hidrogen (H⁺) membuat senyawa asam dapat bergerak bebas dan melekat pada rantai manapun. Dehidrogenasi merupakan pelepasan senyawa hidrogen (H⁺). proses pelepasan hidrogen (H) kemudian melekat pada senyawa baja membentuk senyawa korosi dimana baja sebagai pereduksi dan oksigen dan hidrogen sebagai oksidasi

Fungsi katalis Zeolit alam pada pembentukan senyawa asam dimana reaksi decarboxylasi menghilangkan COOH dan melepaskan senyawa oksigen. Pada jenis katalis CaO menghasilkan reaksi Netralisasi dimana memecah senyawa asam menjadi kalsium karbonat dan membentuk keton.

3.4 Pengaruh Temperatur terhadap Viskositas *Pyrolytic-oil*.

Tingginya nilai viskositas pada *Pyrolytic-Oil* ini disebabkan oleh dekomposisi karbon dibantu oleh hidrogen sehingga rantai karbon panjang dapat terdekomposisi dengan cepat. Proses ini tidak lepas dari peran folatil pada cangkang kelapa sawit dimana mendorong rantai karbon pada permukaan naik keatas dengan tekanan yang tinggi. Sementara rendahnya nilai viskositas pada *Pyrolytic-Oil* disebabkan pendeknya rantai karbon.



Gambar 5 Pengaruh Temperatur pada Viskositas *Pyrolytic-oil*.

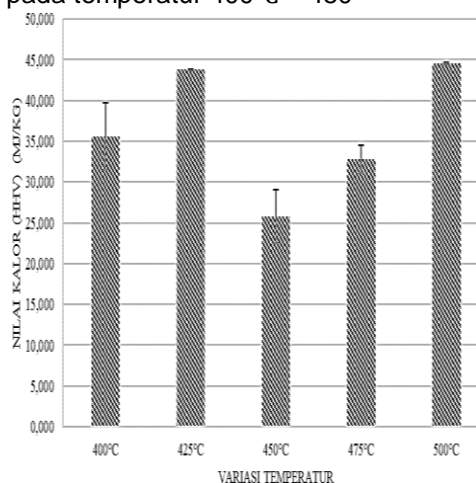
Viskositas pada *Pyrolytic-Oil* dipengaruhi oleh senyawa pembentukan wax pada poses pirolisis. Senyawa pembentukan wax dihasilkan dari kondensasi hemiselulosa dan polimer pada proses pirolisis, sama halnya pada penelitian Yang, dkk (2016). Penambahan katalis CaO dan zeolit alam 75% memecahkan golongan oksigenat menyebabkan nilai viskositas rendah. Dapat disimpulkan bahwa semakin tingginya nilai viskositas *Pyrolytic-Oil* semakin tinggi juga kandungan oksigenat, dimana terjadinya *secondary-crack* sehingga kondensasi oksigenat lambat dan membentuk senyawa alkana.

Pembentukan wax merupakan rantai karbon panjang dimana dapat terdekomposisi kembali menjadi *Pyrolytic-Oil* karena adanya proses decarbonilasi dan membentuk rantai karbon pendek. Pembentukan air pada produk *Pyrolytic-Oil* terjadi akibat reaksi

dehidrasi dimana Zeolit melapaskan senyawa H₂O menghasilkan karbon monoksida dalam bentuk gas dan kemudian terkondensasi. Pemecahan rantai karbon panjang akibat *thermal cracking* menyebabkan kandungan karbon pada *Pyrolytic-Oil* pendek dan pergeseran molekul menjadi berkurang. Pergeseran molekul yang rendah menyebabkan nilai viskositas semakin rendah.

3.5 Pengaruh Temperatur terhadap Nilai Kalor HHV *Pyrolytic-oil*

Kondensasi pada temperatur tinggi menyebabkan pelepasan oksigenat menjadi lama, sehingga terjadi penurunan Nilai kalor *Pyrolytic-Oil* yang dapat dilihat pada Gambar 6. Penambahan plastik pada produk pirolisis berfungsi menambahkan nilai kalor plastik sebagai pembentuk senyawa polimer sebesar 45.89 MJ/kg. sementara itu dekomposisi LDPE terjadi pada temperatur 400°C – 450



Gambar 6. Nilai kalor HHV *Pyrolytic-oil*

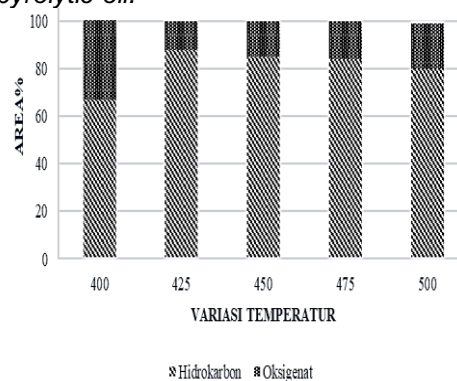
Plastik merupakan sumber utama dalam suplai senyawa karbon dalam proses pirolisis ini. Dekomposisi plastik menghasilkan rantai karbon tunggal atau alkana sebagai reaksi primer. Reaksi radikal hidrogen membuat senyawa hidrogen H⁺ terlepas dan melekat pada rantai karbon membentuk senyawa hidrokarbon. Reaksi sekunder dari katalis adalah memutus rantai karbon dan membentuk rangkap karbon atau senyawa alkana. Rantai karbon pendek akibat dekomposisi plastik menyebabkan nilai

kalor rendah dimana rantai tunggal cepat terlepas dan menguap.

Rendahnya nilai kalor pada *Pyrolytic-Oil* disebabkan reaksi dehidrasi cangkang kelapa sawit membentuk senyawa H₂O. Pada reaksi ini menghasilkan kadar air akibat kondensasi H₂O. kadar air yang tinggi tidak dapat terdeteksi oleh GC-MS.

3.6 Temperatur pada Kandungan Senyawa *Pyrolytic-oil*.

Kandungan senyawa pada *pyrolytic* dapat dilihat melalui uji GC-MS yang mana senyawa C, H, O dan S yang dapat dianalisa. Penelitian ini dilakukan guna melihat pengaruh temperatur pada tingkat hidrokarbon dan oksigenat pada *pyrolytic-oil*.



Gambar 7. GC-MS *Pyrolytic-oil*.

Kandungan senyawa hidrokarbon diproduksi oleh proses kondensasi plastik LDPE. Dekomposisi LDPE pada temperatur dibawah 400°C sehingga menghasilkan *Pyrolytic-Oil* kaya akan hidrokarbon pada awal kodensasi. Plastik sebagai suplai utama senyawa karbon dan hidrogen membentuk golongan hidrokarbon. Sementara pada golongan oksigenat terbentuk disebabkan kandungan senyawa oksigen pada cangkang kelapa sawit kemudian mengikat pada rantai karbon.

Proses pembentukan alkana yaitu dimana rantai tunggal karbon pecah dan akibat *thermal cracking* dan membentuk senyawa baru yaitu alkana rantai karbon rangkap. Berikut tabel 2 tentang golongan senyawa pada *pyrolytic-oil*.

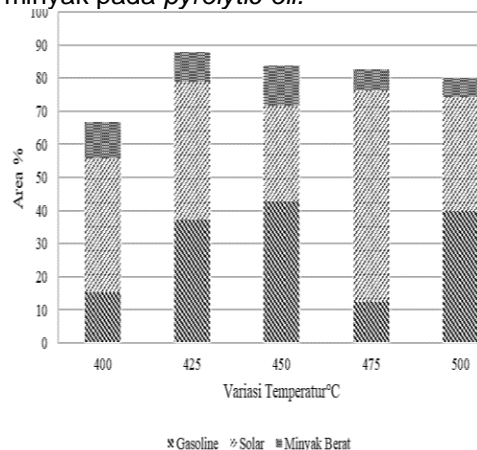
Tabel 2. Golongan, Senyawa dan Area *Pyrolytic-oil*.

Golongan	Senyawa	Ikatan	Variasi Temperatur				
			400	425	450	475	500
			Area %	Area %	Area %	Area %	Area %
Aromatik	PAH		0,86	4,57	4,47	-	6,74
	Aromatik		2,28	10,51	9,33	-	11,83
Hidrokarbon	Alkana		32,98	37,23	35,58	41,96	23,8
	Alifatik	Alkena	24,95	29,98	29,37	37,38	32,26
Hidrokarbon	Alkana		-	0,38	-	0,7	-
	Alkana		2,25	4,63	3,51	3,38	3,79
Siklik	Alkena		3,4	0,68	2,85	0,75	1,63
	Alkana		-	-	-	-	-
Jumlah			66,72	87,98	85,11	84,17	80,05
	Alkohol		25,37	6,13	7,25	13,64	10,49
	Asam		0,85	0,92	-	-	2,51
	Keton		4,83	3,36	4,31	2,22	2,53
	Aldehid		-	-	0,5	-	0,52
Oksigenat	Phenol		2,29	1,64	2,84	-	2,67
	Ester		-	-	-	-	-
	Furan		-	-	-	-	0,19
	Glycol		-	-	-	-	-
Jumlah			33,34	12,05	14,9	15,86	18,91
Jumlah Total			100,06	100,03	100,01	100,03	98,96

Secondary cracking memecahkan rantai karbon dan membentuk rantai rangkap pada karbon menjadi alkena. Pada golongan oksigenat pembentukan senyawa alkohol merupakan dekomposisi selulosa dan lignin membentuk phenolic.

3.7 Pengaruh Temperatur terhadap penggolongan Minyak

Penggolongan minyak bergantung pada nilai karbon (C) Pyrolytic-Oil pada golongan hidrokarbon. Pada gasoline nilai karbon (C) kurang dari 12, untuk solar C13 sampai C24 dan minyak berat kandungan karbon lebih dari 24. Berikut Gambar 8 terhadap penggolongan minyak pada pyrolytic-oil.



Gambar 8. Penggolongan Unsur Karbon pada Pyrolytic-oil.

Pada temperatur 425°C senyawa karbon masuk dalam golongan solar sebesar 41,65% dari jumlah total hidrokarbon. Berbanding terbalik dengan variasi temperatur 450°C senyawa karbon yang dihasilkan mendekati gasoline dibanding solar yaitu sebesar 42,73% dan 28,9%. Phenomenon yang menonjol dalam tren ini adalah bahwa dengan meningkatnya senyawa olefin suhu menurun dengan meningkatnya senyawa parafin. CaO tambahan tidak terafiliasi secara signifikan pada perubahan komposisi olefin dan parafin. Olefin terdiri dari ikatan ganda hidrokarbon yang dapat melepaskan diri karena penyerapan energi dalam senyawa yang memecah ikatan rangkap menjadi ikatan tunggal dan lebih lanjut membentuk senyawa paraffin.

4. KESIMPULAN

1. Produktivitas pirolisis dapat dilihat dari persentase hasil Pyrolytic-Oil tertinggi terdapat pada temperatur 425°C dan 500°C diatas 10%. Pada temperatur 425°C produk Pyrolytic-Oil sebesar 12,25% , arang 17,05% , wax 12,4% dan 58,25% gas. Sementara pada temperatur 500°C produk Pyrolytic-Oil sebesar 14,35%, arang 13,9%, wax 10,4% dan 61,35% gas. Hasil produktivitas dipengaruhi oleh temperatur dengan semakin tinggi temperatur maka dekomposisi senyawa penyusun cangkang kelapa sawit dan plastik mulai terkondensasi menjadi pyrolytic-oil.
2. Sifat Fisik yaitu nilai densitas terendah pada Pyrolytic-Oil dengan variasi temperatur 425°C yaitu sebesar 756,67 Kg/m³ hal ini disebabkan kandungan oksigen pada temperatur 425°C rendah dibandingkan 400°C, 450°C-500°C. Sama halnya kandungan oksigenat mempengaruhi nilai terendah viskositas pada

- temperatur 475°C yaitu 1,2 cP dan tertinggi pada temperatur 500°C sebesar 4,85 cP. Hal ini membuktikan nilai viskositas pada 500°C memiliki kandungan oksigen yang tinggi. Nilai keasaman yang didapatkan yaitu bersifat basa dan asam. *Pyrolytic-Oil* bersifat basa yaitu terbentuk pada temperatur 425°C sebesar 8,50 pH dan asam tertinggi pada temperatur 400°C yaitu 5,60 pH.
3. Sifat kimia *Pyrolytic-Oil* dimana semakin tinggi temperatur semakin tinggi juga energi kalor yang dihasilkan. Pada penelitian ini terjadi fluktuasi dimana nilai kalor tertinggi pada temperatur 500°C yaitu 44,506 MJ/Kg. Nilai kalor puncak kedua pada temperatur 425°C sebesar 43,780 MJ/Kg. Hidrokarbon merupakan hasil kondensasi senyawa plastik dari fosil dimana hidrokarbon tertinggi pada temperatur 425°C yaitu 87,98%. Sementara kandungan oksigenat tertinggi pada temperatur 400°C sebesar 33,34%.
- Khalimatus Sa'diyah, S. R. (2015). Pengaruh Jumlah Katalis Zeolit Alam Pada Produk Proses Pirolisis Limbah Plastik Polipropilen (Pp). *Jurnal Bahan Alam Terbarukan* , 40-45.
- Santoso, J. (2010). *Uji Sifat Minyak Pirolisis Dan Uji Performasi Kompor Berbahan Bakar Minyak Pirolisis Sampah Plastik*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Jingxuan Yang, J. R. (2016). Fast co-pyrolysis of low density polyethylene and biomass residue for oil production. *Energy Conversion and Management*, 422-429.

5. DAFTAR PUSTAKA.

- Abnisa, F. W. W. (2013). Pyrolysis of Mixtures of Palm Shell and Polystyrene: An Optional Method to Produce a High-Grade of Pyrolysis Oil. *Jurnal Pyrolysis*, 1-8.
- Basu, P. (2010). *Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design and Theory*. United States: Elsevier Inc.
- Basu, P. (2013). *Biomass Gasification, Pyrolysis, and Torrefaction Practical Design and Theory Second Edition*. United States of America: Elsevier Inc.