

# KONVERSI TONGKOL JAGUNG MENJADI *BIO-OIL* DENGAN BANTUAN KATALIS ZEOLIT ALAM SECARA *PYROLYSIS*

Siti Rahmah<sup>1</sup>, Yusnimar Sahan<sup>2</sup>, Syaiful Bahri<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Lab TRK Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau  
Kampus Binawidya Jl. HR Subrantas Km. 12,5 Pekanbaru 28293  
Email : siti.rahmah91@yahoo.com

## ABSTRACT

*Bio-oil is obtained from corn cobs (Zea mays L.) biomass by using pyrolysis process with a natural zeolite catalyst ratio between the sample and catalyst. This research was conducted by using a pyrolysis reactor, 500 ml of thermo-oil (silinap) are fed into the reactor pyrolysis . Then the pyrolysis process is started by flowing the nitrogen gas 1.35 mL / sec into the reactor and pyrolysis process is allowing run 3 hours. In order to get the maximum yield of bio-oil, there were determined the affect of ratio variation between biomass and catalyst (50:1, 50:2 and 50:3 g), and variation of pyrolysis temperature (270, 300 and 330°C). as a comperison the pyrolysis process without a catalysth as done. The result of this research, the higher yield of bio-oil is 84,9% which obtained under condition ratio a sample and a catalyst 50:2 g, and a pyrolysis temperature 330°C. Based on the result of characterized of bio-oil, density is 0.899 g / ml , 7.133 cSt viscosity , acid number 0.097 g NaOH / g sample , and the flash point 54 ° C. Based on the results of GC-MS analysis showed that the dominant component in the bio-oil by using 2 grams of natural zeolite and 330°C are Cyclohexane,1-ethyl-1-methyl 15.96 %; pentan ,2,2,4, 4 tetramethyl 5.78%; 1-pentene, 2,4,4 – trimethyl 5.78%; 2,3,4,4-trimethyl-pentene 4.99% and 2-pentene,2,4,4-trimethyl 2.44 %.*

**Key Word** : *Bio-oil, Corn Cobs, Natural Zeolite, Pyrolysis.*

## 1. Pendahuluan

Bahan bakar minyak (BBM) merupakan sumber energi utama dunia yang paling banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Telah banyak diramalkan bahwa persediaan minyak bumi sebagai bahan bakar utama akan habis pada abad ini. Cadangan minyak bumi Indonesia pada tahun 2007 sekitar 8,4 miliar barel, sedangkan konsumsi BBM di Indonesia lebih kurang 345 juta barel/tahun, maka di perkirakan BBM di Indonesia akan habis dalam waktu lebih kurang 20 tahun lagi. Di lain pihak pertambahan penduduk telah mengakibatkan meningkatnya kebutuhan sarana transportasi dan aktifitas industri yang berimbas pada peningkatan kebutuhan dan konsumsi bahan bakar (Departemen Energi & Sumber Daya Mineral, 2007).

Oleh karena itu, diperlukan energi alternatif pengganti BBM. Maka upaya-upaya untuk mencari sumber bahan bakar alternatif perlu dikembangkan.

Salah satu sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui adalah *bio-oil* dari biomassa. *Bio-oil* merupakan salah satu energi alternatif yang dapat digunakan sebagai bahan bakar pengganti BBM. *Bio-oil* adalah bahan bakar cair berwarna gelap beraroma seperti asap dan di produksi dari biomassa, seperti tongkol jagung, kayu, kulit kayu atau biomassa lainnya yang mengandung selulosa yang dapat diolah menjadi energi alternatif dengan cara *pyrolysis* (Hambali dkk, 2007). *Pyrolysis* adalah proses konversi dari suatu bahan organik pada suhu tinggi dan terurai menjadi

ikatan molekul yang lebih kecil. Proses ini menghasilkan uap organik, arang dan tar.

Pada penelitian ini, akan dilakukan konversi tongkol jagung menjadi *bio-oil* dengan menggunakan katalis zeolit alam dengan proses *pyrolysis*. Tongkol jagung biasanya oleh masyarakat dibuang begitu saja dan biasa dijadikan makanan ternak,

sehingga pemanfaatan tongkol jagung belum maksimal. Dengan di olah secara *pyrolysis* tongkol jagung sebenarnya bisa di manfaatkan menjadi *bio-oil* yang berguna untuk masyarakat (Yan Aulia, 2011). Kandungan utama dari biomassa tongkol jagung adalah selulosa, hemiselulosa dan lignin. (Raharja, dkk, 2009).

**Tabel 1** Komposisi organik limbah Jagung

Komponen	Kandungan (%wt)	
	Batang Jagung	Tongkol Jagung
Selulosa	53	41
Hemiselulosa	15	36
Lignin	16	6
Komponen lainnya	16	17

Sumber : (Hambali, 2007)

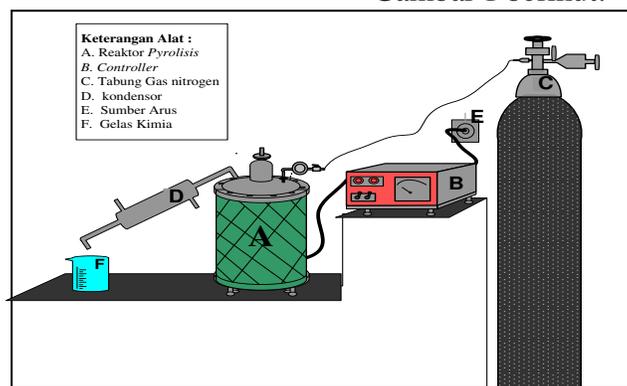
Pada penelitian ini akan dilakukan konversi tongkol jagung menjadi *bio-oil* menggunakan katalis zeolit alam. Penelitian dilakukan dengan menggunakan perlakuan variasi temperatur yaitu 270, 300, 330°C, dan variasi rasio sampel terhadap katalis zeolit alam yaitu 50:1, 50:2, 50:3 serta *pyrolysis* tanpa katalis. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan *bio-oil*.

Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan *bio-oil* dari limbah tongkol jagung sebagai sumber energi terbarukan yang digunakan sebagai pengganti bahan bakar dari minyak bumi yang tingkat ketersediaannya semakin berkurang dan dapat membantu meningkatkan nilai ekonomi negara.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Zeolit alam Yogyakarta, kristal NaOH, kristal  $C_2H_4OH$ , pp, gas  $N_2$ , tongkol jagung dan silinap 280 M (*thermo oil*). Tongkol jagung yang digunakan diambil dari limbah pasar pagi Arengka Pekanbaru. Sedangkan alat-alat yang akan digunakan yaitu lumpang porselin, pengayak, reaktor alas datar ukuran 1 L, oven, *furnace*, timbangan analitik, tabung serta regulator gas  $N_2$ , *condenser*, piknometer, *viskometer* Oswald, gelas piala, 1 set buret, Erlenmeyer, labu ukur, blender, ayakan -100+200 mesh, *stopwatch* dan Gas kromatografi-Spektroskopi Massa (GC-MS). Rangkaian alat proses *pyrolysis* dapat dilihat pada Gambar 1 berikut:



**Gambar 1** Rangkaian Alat Proses Pembuatan *Bio-oil* (Indra, 2010)

## 2.2 Pelaksanaan Penelitian

Konversi tongkol jagung menjadi *Bio-oil* dengan proses *pyrolysis* menggunakan katalis zeolit alam akan dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu:

### 2.2.1 Tahap Persiapan Biomassa

Pada tahap ini,  $\pm 2$  kg tongkol jagung dicacah dan dijemur selama 1 hari, kemudian dilakukan proses pengeringan menggunakan oven dengan temperatur  $110^{\circ}\text{C}$  sampai konstan beratnya. Selanjutnya diblender tongkol jagung yang sudah kering, lalu diayak dengan ukuran -100+200 mesh. Setelah itu biomassa siap untuk digunakan pada proses *pyrolysis*.

### 2.2.2 Tahap Aktifasi Katalis

Katalis zeolit alam digerus terlebih dahulu untuk memperkecil ukuran yaitu -100+200 mesh dan memperbesar luas permukaannya. Untuk aktifasi dilakukan dengan cara memanaskan katalis menggunakan *furnace tube* pada temperatur  $500^{\circ}\text{C}$  selama 5 jam. Lalu katalis siap untuk digunakan pada proses *pyrolysis*.

### 2.2.3 Proses *Pyrolysis* Tongkol Jagung menjadi *Bio-oil*

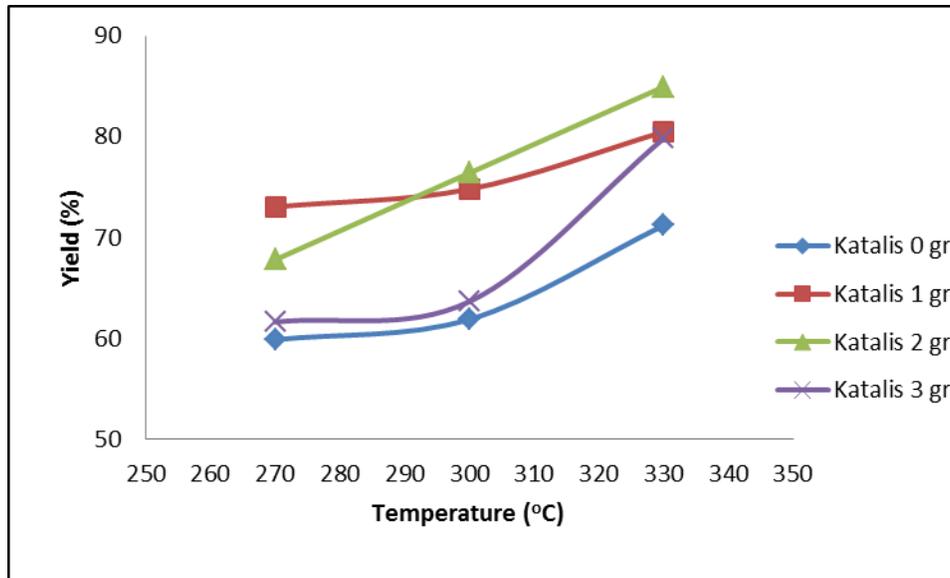
Biomassa yaitu tongkol jagung sebanyak 50 gram beserta zeolit alam sebanyak 1, 2, dan 3 g, serta 500 ml *thermo-oil* (silinap) dimasukkan kedalam reaktor *Pyrolysis*. Kemudian dilakukan proses *Pyrolysis* dengan menambahkan / menghubungkan gas nitrogen 1,35 mL/detik

ke reaktor. Reaktor dioperasikan pada temperatur 270, 300 dan  $330^{\circ}\text{C}$ , diaduk dengan pengaduk listrik (*Heidolph*) pada kecepatan pengadukan 300 rpm. Proses *Pyrolysis* akan menghasilkan produk cair (*Bio-Oil*) akibat proses kondensasi. *Bio-Oil* yang didapat kemudian dianalisa sifat fisika seperti densitas, viskositas, angka keasaman, titik nyala dan nilai kalor serta analisa kimia menggunakan alat GC-MS untuk mengetahui komponen kimia yang terkandung pada *bio-oil*.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Pengaruh Hasil *Pyrolysis* Tongkol Jagung terhadap *Yield(%) Bio-Oil*

Dari hasil *pyrolysis* tongkol jagung diperoleh produk berupa *bio-oil* yang akan ditentukan nilai *yield (%)*, analisis fisika dan komposisi dari produk tersebut. Pada penelitian ini dilakukan proses *pyrolysis* tongkol jagung dengan menggunakan bantuan katalis zeolit alam. Rasio sampel dengan katalis yang digunakan pada proses *pyrolysis* yaitu 50:1, 50:2, 50:3 dan tanpa katalis. Proses *pyrolysis* dilakukan dengan silinap sebagai (280M) sebagai media pemanas (*heat transfer fluid*) sebanyak 500 ml dengan kecepatan pengadukan pada reaktor 300 rpm dan laju alir gas  $\text{N}_2$  1,35 ml/detik. Pengaruh variasi temperatur *pyrolysis* dan jumlah katalis zeolit alam pada hasil *yield bio-oil* yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



**Gambar 2.** Grafik pengaruh temperatur dan katalis zeolit alam terhadap *yield(%) bio-oil*

Gambar 2 menunjukkan bahwa variasi jumlah katalis yang digunakan dapat mempengaruhi *yield(%) bio-oil* yang diperoleh dari hasil *pyrolysis*. *Yield bio-oil* terendah diperoleh pada kondisi proses *pyrolysis* tanpa adanya bantuan katalis, sedangkan *yield* tertinggi pada kondisi proses *pyrolysis* dengan menggunakan katalis 2g. Secara teori seharusnya dengan peningkatan pemakaian jumlah katalis akan menyebabkan energi aktivasi semakin kecil sehingga kecepatan reaksi semakin meningkat, maka *yield bio-oil* yang dihasilkan juga semakin besar. Hal ini diperkirakan terjadi karena semakin banyaknya produk gas yang tidak terkondensasi sehingga *yield bio-oil* rendah. Besarnya persentasi katalis zeolit alam yang digunakan, akan meningkatkan kemungkinan untuk terjadinya reaksi dekomposisi selulosa, hemiselulosa dan lignin pada rongga katalis yang menyebabkan *yield Bio-oil* semakin besar (setiawan,2013).

Dari Gambar 2 juga dapat dilihat bahwa perlakuan variasi temperatur juga dapat mempengaruhi *yield(%) bio-oil* yang

diperoleh. Semakin tinggi temperatur pada proses *pyrolysis* maka semakin besar *yield(%) bio-oil* yang dihasilkan. Untuk *yield* tertinggi diperoleh pada temperatur 330°C yaitu sebesar 84,94%, sedangkan *yield* terendah diperoleh pada temperatur 270°C yaitu sebesar 59,86°C. Meningkatnya *yield(%) bio-oil* dikarenakan semakin tinggi temperatur *pyrolysis* maka semakin tinggi *yield bio-oil* dan *syn gas* semakin besar sedangkan perolehan *bio-char* semakin menurun. Peningkatan temperatur akan meningkatkan laju pemanasan dan menyebabkan degradasi lignin yang lebih banyak dan meningkatkan produksi *bio-oil* (Capareda,2011).

### 3.2 Hasil Karakterisasi *Bio-oil*

#### 3.2.1 Hasil Karakterisasi Sifat Fisika *Bio-Oil*

Hasil uji karakterisasi sifat fisika *bio-oil* dari tongkol jagung menggunakan variasi rasio sampel terhadap katalis yaitu (50:1; 50:2; 50:3 dan tanpa katalis) dan variasi temperatur yaitu 270, 300 dan 330°C. Hasil uji karakterisasi sifat fisika *bio-oil* dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

**Tabel 2** Hasil Uji Karakteristik Sifat Fisika *Bio-oil* dari Tongkol Jagung

Temperatur (°C)	Katalis (g)	Densitas (g/mL)	Viskositas (cSt)	Angka asam (mgNaOH/ g Sampel)	Titik Nyala (°C)	Yield (%)
270	0	1,007	5,392	0,033	53	59,86
	1	1,011	6,039	0,038	59	73,04
	2	1,024	5,414	0,040	62	67,80
	3	1,005	5,532	0,041	64	61,62
300	0	1,013	5,572	0,046	60	61,88
	1	1,012	5,827	0,059	58	74,80
	2	1,011	6,081	0,079	55	76,40
	3	1,002	6,655	0,089	61	63,64
330	0	0,968	5,657	0,085	60	71,20
	1	0,914	7,432	0,087	59	80,48
	2	<b>0,899</b>	<b>7,133</b>	<b>0,097</b>	<b>54</b>	<b>84,94</b>
	3	0,989	7,437	0,108	58	79,82

Dari Tabel 2 terlihat bahwa uji karakteristik *bio-oil* yang terdiri dari densitas, viskositas, angka keasaman, titik nyala dan *yield*. Secara keseluruhan nilai densitas *bio-oil* berkisar antara 0,899 – 1,024 g/ml. Nilai viskositas sangat dipengaruhi oleh kandungan air didalam *bio-*

*oil*. Nilai viskositas pada penelitian ini berkisar 5,392 – 7,437 cSt. Pengujian angka keasaman *bio-oil* pada penelitian ini berkisar 0,033 – 0,108 mg NaOH/g sampel. Titik nyala pada penelitian ini berkisar 53 – 64 °C.

**Tabel 3** Perbandingan Spesifikasi *Bio-oil* Tongkol Jagung dengan Standard *Bio-oil*

Karakteristik	Standard <i>Bio-oil</i> (*)	<i>Bio-oil</i> Tongkol Jagung
Densitas (g/ml pada 40°C)	0,94 - 1,2	0,899 – 1,024
Viskositas (cSt pada 40°C)	4 - 78	5,392 – 7,437
Angka Keasaman (mg NaOH/g sampel)	0,5*	0,033 – 0,108
Titik Nyala (°C)	48-67	53 – 64
Nilai Kalor (MJ/kg)	16-19	18,562

Sumber : (Dynamotiv, 2012) \* (Yu, F, 2009)

Tabel 3 menunjukkan bahwa spesifikasi *bio-oil* yang diperoleh mendekati spesifikasi standar *bio-oil*, seperti densitas, viskositas dan titik nyala. Namun nilai angka keasaman yang didapat pada *bio-oil* lebih rendah dari pada nilai angka keasaman standar *bio-oil*. Tapi secara umum disimpulkan bahwa, spesifikasi *bio-oil* pada

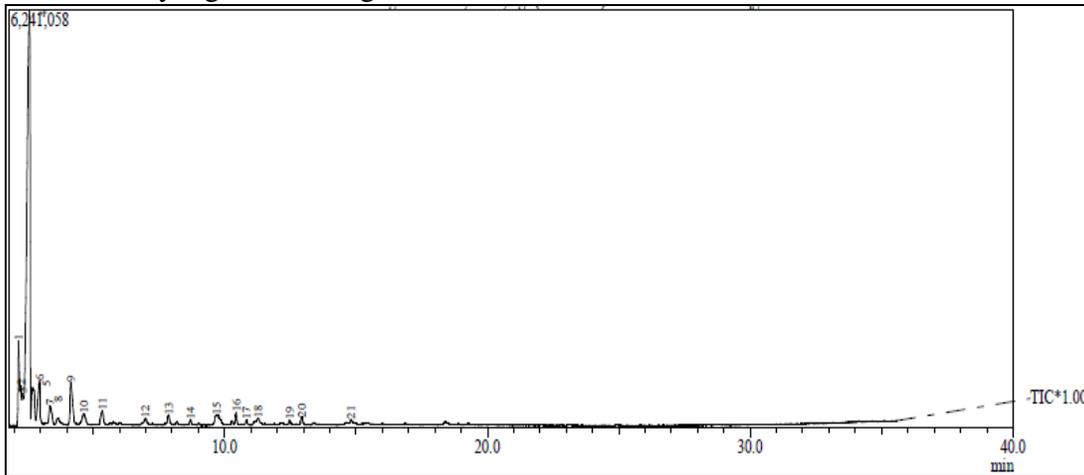
penelitian ini memenuhi standar spesifikasi bahan bakar seperti *bio-oil*.

### 3.2.2 Hasil Karakterisasi Sifat Kimia *Bio-Oil*

*Bio-oil* hasil proses *pyrolysis* dari tongkol jagung dilakukan analisa kimia berupa pengujian GC-MS dengan variasi tanpa katalis dan menggunakan katalis

sebesar 2 g, serta pada temperatur 330°C. Analisa GC-MS menghasilkan kromatogram yang menyatakan jumlah persentasi komponen kimia yang terkandung di dalam

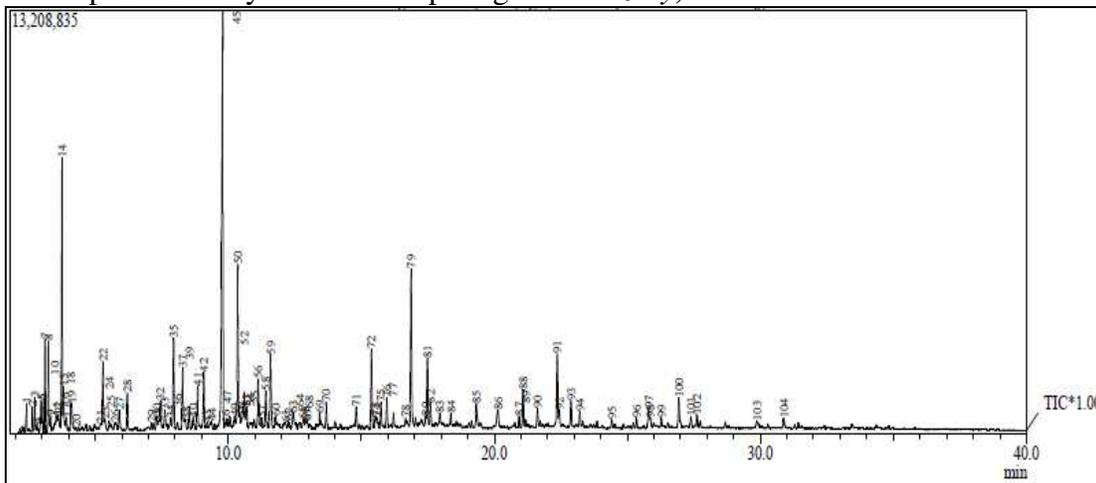
*bio-oil*. Hasil kromatogram dari dua sampel *bio-oil* dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4 berikut.



**Gambar 3** Kromatogram *Bio-oil* Tongkol Jagung Tanpa Katalis

Gambar 3 memperlihatkan bahwa dari kromatogram *bio-oil* tanpa katalis pada temperatur 330 °C ada 21 puncak yang teridentifikasi sebagai senyawa *bio- oil* dan didapat 5 puncak senyawa kimia paling

dominan yaitu 61,34 % *Acetic acid*; 5,31% *2-Propanon,1-hydroxy*; 4,94% *2-Furancarboxaldehyde*; 4,76% *Propanoic Acid* dan 2,59% *Methanol (methyl-onn-azoxy)*.



**Gambar 4** Kromatogram *Bio-oil* Tongkol jagung dengan Katalis

Gambar 4 memperlihatkan bahwa dari kromatogram *bio-oil* dengan jumlah massa katalis 2 g pada temperatur 330 °C ada 104 puncak yang teridentifikasi sebagai senyawa *bio- oil* dan didapat 5 puncak senyawa kimia paling dominan yaitu 15,96% *Cyclohexane,1-ethyl-1-methyl*; 5,78% *pentane,2,2,4,4 tetramethyl*; 5,15% *1-*

*pentene, 2,4,4-trimethyl*; 4,99% *2-pentene,3,4,4-trimethyl* dan 2,44% *2-pentene,2,4,4-trimethyl*.

Hasil analisa GC-MS *bio-oil* hasil *pyrolysis* tongkol jagung pada temperatur 330 °C dengan penambahan katalis 2 g memperlihatkan bahwa terjadi peningkatan jumlah jenis komponen yaitu sebesar 104

komponen. Senyawa yang dominan pada hasil bio-oil dengan temperatur 330°C dan katalis 2 g adalah senyawa *Cyclohexane,1-ethyl-1-methyl*. Dari interpretasi data GC-MS dapat diketahui bahwa semakin tinggi jumlah katalis *pyrolysis* semakin banyak komponen *bio-oil* yang teridentifikasi pada temperatur yang sama.

### 3.3 Hasil Analisa Katalis

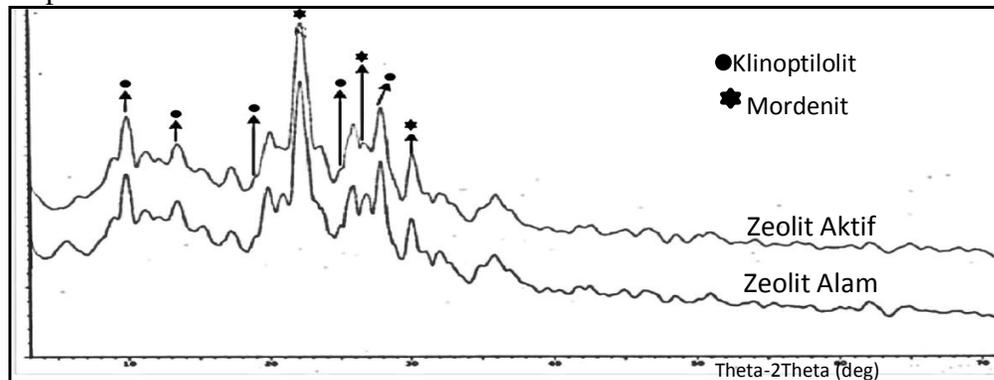
Karakterisasi struktur zeolit alam ini telah dilakukan oleh Fachrul (2012) dengan analisis XRD (*X-Ray Diffraction*), SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan AAS (*Anatomic Absorption Spectroscopy*). Analisis yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui komposisi utama mineral zeolit, untuk melihat dan membandingkan morfologi dari permukaan zeolit alam dan untuk mengetahui kadar silika dan alumina yang terdapat di dalam sampel.

**Tabel 4** Identifikasi Jenis Mineral pada Difraktogram Sinar – X

Komponen	2θ Katalis	2θ Standar	
Mordenit	9,8	9,84	JCPDS No. 6-239
	13,42	13,43	
	19,7	19,60	
	25,5	25,61	
	27,7	27,65	
Klinoptilolit	22,3	22,31	Marita (2010)
	26,5	26,60	
	30	30,17	

Sumber : ( Fachrul, 2012)

Perbandingan hasil difraktogram sinar X antara zeolit alam dan zeolit alam aktif ditunjukkan pada Gambar 5 berikut:



**Gambar 5** Perbandingan Hasil Difraktogram Sinar X Zeolit Alam dan Zeolit Alam Aktif.

Sumber : (Fachrul, 2012)

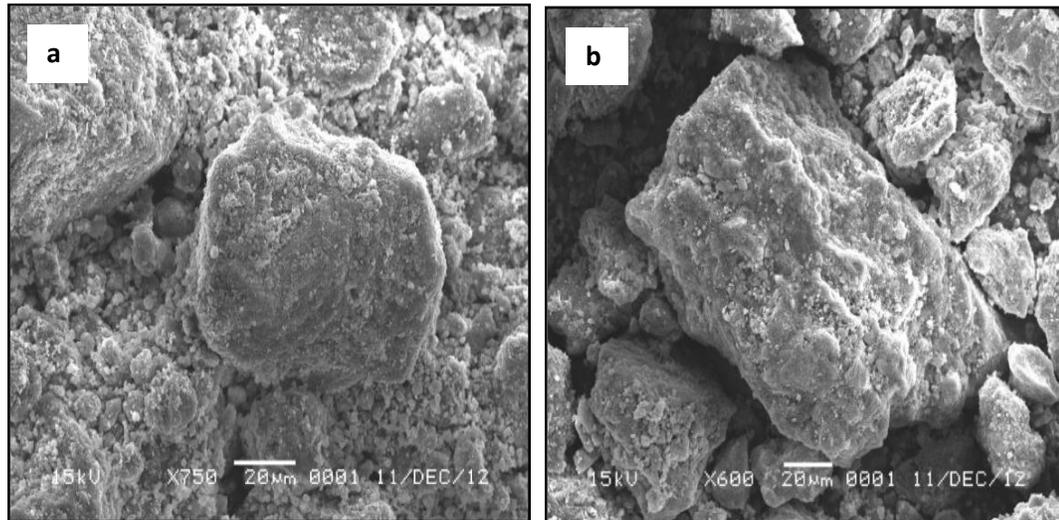
Berdasarkan Tabel 4 dan Gambar 5 hasil analisis XRD jenis mineral penyusun sampel ditunjukkan oleh daerah munculnya

puncak (2θ), sedangkan tingkat kristalinitas struktur komponen ditunjukkan oleh tinggi rendahnya intensitas puncak. Pola difraksi

mineral dari hasil analisis difraksi sinar X dicocokkan nilai  $2\theta$  nya dengan data JCPDS (*Joint Committee for Powder Diffraction Standard*) atau hasil penelitian lain yang dilakukan sehingga diketahui jenis mineral yang terdapat di dalam sampel. Hasil

analisis XRD menunjukkan zeolit yang digunakan termasuk ke dalam jenis zeolit klinoptilolit dan mordenit.

Hasil analisis SEM Katalis Zeolit Alam dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6** Morfologi Permukaan Zeolit (a) sebelum aktivasi (b) setelah aktivasi  
(Sumber :Fachrul, 2012)

Analisis SEM pada Gambar 6 menunjukkan morfologi permukaan katalis zeolit sebelum dan setelah proses aktivasi. Pada zeolit sebelum aktivasi terlihat bahwa pada permukaan zeolit masih terdapat banyak pengotor dibandingkan setelah proses aktivasi. Hal ini membuktikan bahwa proses aktivasi berhasil mengurangi pengotor-pengotor yang terdapat pada zeolit.

Menurut data dari BTG (2003), *bio-oil* dapat langsung dijadikan bahan bakar apabila kandungan phenolnya lebih besar dari 50%. Oleh karena itu, perlu dilakukan *upgrading bio-oil* untuk mendapatkan *bio-oil* yang dapat langsung dijadikan bahan bakar.

#### 4. Kesimpulan

1. Perlakuan variasi jumlah katalis dapat mempengaruhi *yield*(%) *bio-oil* yang diperoleh dari hasil *pyrolysis*. *Yield*

terendah diperoleh pada reaksi tanpa adanya bantuan katalis, sedangkan *yield* tertinggi diperoleh pada reaksi *pyrolysis* dengan berat katalis 2 g.

2. Hasil uji karakteristik sifat fisika *bio-oil* diperoleh *yield* tertinggi yaitu 84,9% pada kondisi temperatur 330°C dan penggunaan katalis 2 g, dan *bio-oil* ini mempunyai densitas 0,899 g/ml, viskositas 7,133 cSt, angka keasaman 0,097 g NaOH/g sampel, titik nyala 54°C.
3. Hasil analisa GC-MS menunjukkan bahwa dengan penambahan jumlah katalis maka akan meningkatkan jumlah komponen yang terkandung pada *bio-oil* hasil *pyrolysis* tongkol jagung. Jumlah komponen pada temperatur 330°C tanpa katalis sebanyak 21 komponen sedangkan pada temperature 330°C dengan katalis 2 g mengandung 104 komponen.

4. Komponen dominan dalam *bio-oil* pada penggunaan zeolit alam 2 gr yaitu 15,96% *Cyclohexane,1-ethyl-1-methyl*; 5,78% *pentane,2,2,4,4 tetramethyl*; 5,15% *1-pentene, 2,4,4-trimethyl*; 4,99% *2-pentene,3,4,4-trimethyl* dan 2,44% *2-pentene,2,4,4-trimethyl*.

## 5. Saran

1. Sebaiknya untuk penelitian berikutnya dilakukan dengan variasi jumlah massa katalis diatas 3 g, untuk menentukan hasil optimum dari *yield bio-oil* yang diperoleh.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan berkaitan tentang produk samping berupa gas yang tidak berhasil terkondensasi dengan antisipasi menggunakan *cooler* ataupun *waterbath*.

## 6. Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada teman-teman angkatan 2013 atas dukungan yang telah diberikan, kepada Lab Teknik Reaksi Kimia dan Katalis atas fasilitas yang telah diberikan kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

## 7. Daftar Pustaka

- Aulia, Y. (2011). Pemanfaatan Bonggol Jagung Menjadi Asap Cair Menggunakan Proses Pirolisis Guna Untuk Pengawetan Ikan Layang (*Decap terus spp*). Semarang: Universitas Diponegoro.
- Biomass Technology Group. 2003. Bio-Oil Applications. [http://www.btgword.com/technologies/bio\\_oil\\_application.html](http://www.btgword.com/technologies/bio_oil_application.html), diakses pada 4 Mei 2013.

Dynamotive Energy Sistem.(2012). BioOil, <http://www.dynamotive.com>. Diakses pada tanggal 13 januari 2013.

Fachrul. 2012. Perengkahan Katalitik Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) Menghasilkan Biofuel Menggunakan Katalis Femo/Zeolit. Skripsi : Universitas Riau.

Hambali, E., Mujdalipah, S., Tambunan, A.H., Pattiwiri, A.W., Hendroko, R. 2007. Teknologi Bioenergi. Jakarta: Penerbit Agromedia Pustaka.

Imam. T., Capareda. S. (2011). Characterization of Bio oil, Syn Gas, and Bio Char from Switchgrass Pyrolysis at Various Temperature. *Journal of Analytical and applied pyrolysis*, 7

Indra, Y.S. (2010). Pembuatan dan Karakterisasi Katalis Ni/NZA untuk Proses Catalytic Cracking Tandan Kosong Sawit menjadi Bahan Bakar Cair. Riau

Raharja, S., Suryadharma, P., & Sulhingtyas, L.C. (2009). Optimization Technique of Corn Biomass Pyrolysis for Production of Food Additive and Energy. Bogor: Dep. Teknologi Industri Pertanian.

Setiadi dan A. Pertiwi, 2007, Preparasi dan Karakterisasi Zeolit Alam untuk Konversi Senyawa Abe menjadi Hidrokarbon, Prosiding Kongres dan Simposium Nasional Kedua MKICS 2007.

Yu, F., Steele, P., Gajjela, S.K., Hassan, E.B., Mitchell, B. Production of Hydrocarbons from Biomass Fast Pyrolysis and Hydrodeoxygenation. Departement of Forest Products. Mississippi University.