

## Pirolisis Limbah Serbuk Kayu dengan Katalisator Zeolit

Y.C. Danarto<sup>1,\*</sup>, Prasetyo Budi Utomo<sup>2</sup>, Ferry Sasmita<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Staf Pengajar Teknik Kimia FT UNS

<sup>2</sup>Mahasiswa Teknik Kimia FT UNS

### Abstract

Indonesia as a tropical country has a potential for a large timber industry so that the sawdust waste generated is large. One of alternative sawdust utilization is converting sawdust become useful compound by pyrolysis process. Pyrolysis process is thermal decomposition organic material at inert situation (without or with a few oxygens) which will cause the forming of volatile compound. The aim of this research was to study catalyst influence upon pyrolysis products such as char, liquid and gas. The experiment was conducted in fixed bed reactor equipped with condenser and catalyst tube. Pyrolysis was run till temperature reach 700°C. Catalyst was placed in reactor with variation of catalyst mass (50 grams, 100 grams, 150 grams and 200 grams) or in catalyst tube with variation of catalyst mass (¼ part of catalyst tube 423,82 grams, ½ part of catalyst tube 646,60 grams, ¾ part of catalyst tube 904,25 grams and 1 part of catalyst tube 1143,67 grams). Liquid pyrolysis product was analyzed with GC-MS method. The results showed that the volume liquid pyrolysis product with catalyst placed in reactor was more compared to volume liquid pyrolysis product without catalyst and volume liquid pyrolysis product with catalyst place in catalyst tube. It was showed from GC-MS analysis that acetic acid and phenol were the most compound found in liquid pyrolysis product.

**Keywords:** sawdust, pyrolysis, zeolite catalyst

### Pendahuluan

Indonesia sebagai negara tropis memiliki potensi kayu yang sangat besar, sehingga limbah yang dihasilkan industri kayu juga besar. Salah satu alternatif pemanfaatannya dengan mengkonversi limbah serbuk kayu menjadi senyawa yang berguna yaitu asam asetat dan fenol. Pemanfaatan fenol di dalam negeri salah satunya sebagai perekat dalam industri perkayuan. Misalnya dalam industri kayu lapis dan papan partikel. Perekat berbahan baku fenol merupakan jenis perekat sintesis matang panas yang direaksikan dengan formaldehida membentuk perekat yang berkualitas. Selain itu kegunaan fenol lainnya adalah sebagai disinfektan, obat-obatan, zat warna, bahan peledak, dan plastik. Sedangkan pemanfaatan asam asetat sebagai pengatur keasaman pada industri makanan, pelunak air dan minuman fungsional (misal: cuka apel).

Sebelum menjadi asam asetat dan fenol, limbah serbuk kayu tersebut perlu dikonversi terlebih dahulu. Untuk mengkonversi limbah serbuk kayu menjadi asam asetat dan fenol dibutuhkan suatu proses. Salah satunya adalah melalui pirolisis. Pirolisis merupakan proses dekomposisi suatu zat/material yang dilaksanakan pada suhu yang relatif tinggi. Hasil pirolisis serbuk kayu berupa hasil gas, cair dan padat. Hasil padat dari proses ini berupa arang (*char*). Hasil gas dan cair dapat dimanfaatkan sebagai sumber asam

asetat dan fenol.

Penggunaan limbah serbuk kayu sebagai bahan baku proses pirolisis dapat mengatasi permasalahan limbah serbuk kayu. Pengolahan industri kayu menghasilkan limbah serbuk kayu yang terkadang menumpuk begitu saja di industri kayu tanpa dimanfaatkan sama sekali.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh jumlah katalis terhadap proses pirolisis katalitik limbah serbuk kayu dengan katalisator zeolit.

### Landasan Teori

Kayu

Kayu berdasarkan struktur kimia tersusun atas selulosa, lignin dan hemiselulosa. Selulosa sebagai kerangka, hemiselulosa sebagai matrik, dan lignin sebagai bahan pengikat sel-sel dan memberikan kekakuan kepada dinding sel. Selulosa adalah komponen utama dinding sel. Molekul selulosa dibentuk oleh  $\pm 10.000$  monomer glukosa yang diikat dengan ikatan 1,4- $\beta$ -glukosida. Setiap monomer glukosa memiliki tiga gugus hidroksil (-OH). Sebanyak 36 molekul selulosa terikat bersama-sama oleh ikatan hidrogen membentuk seberkas fibril elementer. Fibril elementer bergabung membentuk mikrofibril, kemudian mikrofibril bergabung membentuk fibril dan akhirnya membentuk serat-serat selulosa (Sjostrom, 1993).

\*Jl. Ir. Sutami No. 36 A Surakarta, Telp./Fax (0271) 632112  
yc.danarto@gmail.com

Hemiselulosa adalah heteropolimer dengan berbagai monomer gula, dan rantai molekul yang lebih pendek dari selulosa. Hemiselulosa merupakan senyawa *amorf*, karena banyak percabangan pada rantai molekulnya. Selain ketiga komponen tersebut terdapat zat-zat dalam kayu yang bukan penyusun struktur kayu yang dikelompokkan sebagai zat ekstraktif (Walker, 1993).

Lignin adalah suatu polimer senyawa aromatik yang sebagian besar tidak larut dalam kebanyakan pelarut organik. Lignin tidak dapat diuraikan menjadi satuan monomer, karena bila dihidrolisis, monomer sangat cepat teroksidasi dan segera terjadi reaksi kondensasi. Lignin adalah senyawa tiga dimensi yang disusun dari monomer metoksifenil propana. Pada kayu, lignin umumnya terdapat di daerah lamela tengah dan berfungsi pengikat antar sel serta menguatkan dinding sel kayu. Lignin adalah senyawa amorf total (non kristalin). Lignin hanya dapat dijelaskan dalam bentuk model, misalnya model struktur lignin yang diusulkan oleh Adler (1977) tersusun atas 16 monomer dan yang diusulkan oleh Glasser (1981) tersusun atas 94 monomer (Fengel, 1993).

Secara bertahap, pirolisis kayu akan mengalami peruraian :

- Hemiselulosa terdegradasi pada 200-260°C
- Selulosa pada 240-350°C
- Lignin pada 280-500°C

Degradasi termal dapat dilakukan dengan adanya pelarut dalam jumlah rendah sehingga reaksi berjalan lebih cepat (Sjostrom, 1993).

#### Zeolit

Zeolit adalah senyawa zat kimia alumino-silikat berhidrat dengan kation natrium, kalium dan barium. Secara umum, zeolit memiliki mekular struktur yang unik, dimana atom silikon dikelilingi oleh 4 atom oksigen sehingga membentuk semacam jaringan dengan pola yang teratur. Di beberapa tempat di jaringan ini, atom Silikon digantikan dengan atom Aluminium, yang hanya terkoordinasi dengan 3 atom Oksigen. Atom Aluminium ini hanya memiliki muatan  $3^+$ , sedangkan Silikon sendiri memiliki muatan  $4^+$ . Keberadaan atom Aluminium ini secara keseluruhan akan menyebabkan zeolit memiliki muatan negatif. Muatan negatif inilah yang menyebabkan zeolit mampu mengikat kation.

Zeolit juga sering disebut sebagai '*molecular sieve*' atau '*molecular mesh*' (saringan molekuler) karena zeolit memiliki pori-pori berukuran molekuler sehingga mampu memisahkan/menyaring molekul dengan ukuran tertentu.

Zeolit mempunyai beberapa sifat antara lain : mudah melepas air akibat pemanasan, tetapi juga mudah mengikat kembali molekul air dalam udara lembab. Oleh sebab sifatnya tersebut maka zeolit banyak digunakan sebagai bahan pengering. Disamping itu zeolit juga mudah melepas kation dan diganti dengan kation lainnya, misal zeolit melepas

natrium dan digantikan dengan mengikat kalsium atau magnesium. Sifat ini pula menyebabkan zeolit dimanfaatkan untuk melunakkan air.

Indonesia merupakan salah satu negara yang kaya akan zeolit alam dengan sifat-sifat yang memungkinkan untuk dimodifikasi menjadi katalis maupun sebagai padatan pengemban logam aktif. Zeolit telah diketahui memainkan peranan penting sebagai katalis asam pada industri pengolahan minyak bumi dan petrokimia, termasuk dalam reaksi perengkahan dan isomerisasi hidrokarbon. Mengingat zeolit alam sangat melimpah dan murah, maka penggunaannya sebagai katalis dapat menurunkan biaya produksi (Trisunaryanti *et al.*, 1996). Katalis sistem logam/ zeolit memiliki stabilitas dan selektivitas yang jauh lebih baik dari pada *bulk* logam. Bila dipandang dari sudut modifikasi zeolit alam, pengembangan logam tersebut diharapkan dapat memperbaiki sifat zeolit alam, yaitu membuat ukuran pori lebih seragam dengan menutupi pori-pori kecil dan meningkatkan stabilitas termal pada katalis logam/zeolit terhadap perlakuan panas. Sifat lain dari zeolit yang juga berpengaruh terhadap peranannya dalam katalisis adalah :

1. komposisi kerangka dan struktur pori zeolit; komposisi kerangka zeolit mengatur muatan kerangka dan mempengaruhi stabilitas termal dan asam dari zeolit;
2. kenaikan rasio Si/Al akan berpengaruh pada stabilitas zeolit terhadap temperatur tinggi dan lingkungan yang reaktif seperti naiknya keasaman;
3. medan elektrostatis zeolit; keadaan ini menyebabkan interaksi adsorbsinya dengan molekul lain berubah-ubah;
4. kekuatan asam dari situs asam *Bronsted*; akan bertambah dengan naiknya rasio Si/ Al penurunan konsentrasi kation dalam zeolit;
5. perubahan struktur unit bangun sekunder dari zeolit; peran struktur pori zeolit sangat penting dalam proses katalisis karena pori inilah yang berperan sebagai mikroreaktor dan darinya dimungkinkan untuk mendapatkan reaksi katalitik yang diinginkan menurut aturan selektivitas bentuk.

#### Pirolisis

Pirolisis dapat didefinisikan sebagai dekomposisi thermal material organik pada suasana *inert* (tanpa kehadiran oksigen) yang akan menyebabkan terbentuknya senyawa *volatil*. Pirolisis pada umumnya diawali pada suhu 200 °C dan bertahan pada suhu sekitar 450 – 500 °C (Sheth and Babu, 2006). Pirolisis suatu biomassa akan menghasilkan tiga macam produk, yaitu produk gas, cair, dan padat (*char*). Jumlah produk gas, cair dan *char* tergantung pada jenis prosesnya (suhu dan waktu pirolisis), seperti terlihat pada tabel 1.

**Tabel 1. Kandungan Produk Cair, Padat dan Gas pada Berbagai Jenis Pirolisis**

Jenis Pirolisis	Komposisi		
	Gas	Cair	Padat (Char)
<i>Fast Pyrolysis</i> - suhu moderat (~ 500 °C) - waktu pirolisis singkat (< 2 dtk)	13 %	75 % (senyawa organik)	12 %
<i>Carbonization</i> - suhu relatif rendah - waktu pirolisis Lama	35 %	30 % (air)	35 %
<i>Gasification</i> - suhu tinggi (> 800 °C) - waktu pirolisis Lama	85 %	5 % (tar)	10 %

Dua cara utama dari pemanasan partikel biomassa dalam sistem *fast pyrolysis* terdiri dari: transfer panas gas-padat seperti pada reaktor *entrained flow* dimana panas ditransfer dari gas panas ke partikel biomassa yang terpirolisis oleh konveksi dan transfer panas padat-padat dengan kebanyakan transfer panas konduksi.

Yield yang tinggi dari cairan *fast pyrolysis* dapat diperoleh dari kombinasi yang optimal antara lain: tingkat pemanasan yang sangat tinggi, temperatur uap air di bawah 600°C, *residence time* uap air yang sangat rendah dan pemunduran yang cepat dari resultan uap air. Meskipun 3 produk utama dari gas, cair dan *char* terbentuk, antara gas dan *char* diperkecil melalui kontrol temperatur dan *residence time* secara umum 15-20% berat dari bahan baku kering.

Temperatur tinggi yang dibutuhkan untuk pirolisis dapat diperoleh dalam beberapa cara, antara lain:

1. memanaskan campuran gas-padat melalui dinding reaktor;
2. memanaskan dengan transfer panas medium yaitu gas, misalnya *preheated recycle gas* atau cair, misalnya *molten metal* atau *molten salt*;
3. memanaskan melalui reaksi eksotermis ke dalam reaktor, misalnya oksidasi parsial.

Dalam semua kasus, mekanisme transfer panas dan kontrol langkah adalah penting dalam desain reaktor. (Bridgwater, 2005).

#### Pirolisis Katalitik

Pirolisis katalitik adalah proses pirolisis yang menggunakan katalisator. Katalisator di sini berfungsi untuk memecah hidrokarbon rantai panjang menjadi hidrokarbon rantai pendek (C<sub>1</sub>-C<sub>5</sub>). Disamping itu, katalisator mampu meningkatkan kecepatan dekomposisi dan memperbesar produk cair hasil pirolisis (Scheirs and Kaminsky, 2006).

Penelitian pertama pirolisis katalitik dilakukan oleh Uemichi et.al (1983) yang meneliti pirolisis

polietilen menggunakan katalisator Pt/silika-alumina dan Pt/alumina. Beberapa tahun kemudian Ishihara et.al (1992) melaporkan bahwa pirolisis polietilen menggunakan katalisator silika-alumina dapat memperpendek rantai polimer dan meningkatkan cabang rantai. Betrame and Carniti (1989) membandingkan berbagai macam katalisator yang digunakan dalam pirolisis polietilen. Mereka menemukan bahwa katalisator zeolit merupakan katalisator yang paling efektif.

Walendzie (2001) melaporkan bahwa temperatur optimum pirolisis sampah poliolefin 410 – 430 °C sedangkan jika menggunakan pirolisis katalitik maka temperatur optimum berkisar 390 °C. Manos (2000) meneliti pirolisis katalitik dengan katalisator zeolit mendapati bahwa produk cair yang diperoleh berupa hidrokarbon dengan range C<sub>3</sub> – C<sub>15</sub>.

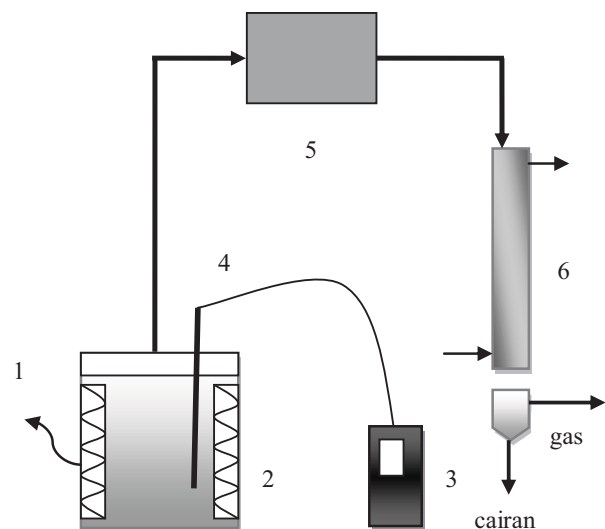
#### Metodologi

##### Bahan

1. Bahan limbah serbuk kayu yang dapat diperoleh dari industri kayu dikeringkan terlebih dahulu.
2. Zeolit dalam bentuk bongkahan-bongkahan kecil dan serbuk.

##### Alat

Rangkaian alat proses pirolisis limbah serbuk kayu dengan katalisator zeolit dapat dilihat pada Gambar 1.



Keterangan gambar :

- |                      |                   |
|----------------------|-------------------|
| 1. Elemen pemanas    | 4. Pirometer      |
| 2. Reaktor fixed bed | 5. Tabung katalis |
| 3. Termokopel        | 6. Kondensor      |

**Gambar 1.** Rangkaian alat proses pirolisis limbah serbuk kayu

##### Cara Kerja

Limbah serbuk kayu sebanyak 200 gram dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis. Proses pirolisis dijalankan dengan variasi bentuk katalis, berat katalis

dan penempatan katalis. Bentuk katalis terdiri dari katalis serbuk dengan variasi berat (50 gram, 100 gram, 150 gram dan 200 gram) di campur dalam reaktor dan katalis bongkahan dengan variasi berat ( $\frac{1}{4}$  bagian tabung katalis sebesar 423,82 gram,  $\frac{1}{2}$  bagian tabung katalis sebesar 646,60 gram,  $\frac{3}{4}$  bagian tabung katalis sebesar 904,25 gram dan 1 bagian tabung katalis sebesar 1143,67 gram). Kemudian reaktor pirolisis dipanaskan. Karena panas, serbuk kayu akan terdekomposisi menjadi gas. Gas tersebut kemudian dikondensasi di dalam kondensor dengan pendingin air. Penelitian dihentikan jika gas hasil pirolisis tidak terbentuk lagi.

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah jumlah dan variasi penambahan katalisator zeolit.

Hasil cair dari penelitian diuji menggunakan alat Kromatografi Gas Spektroskopi Massa (GC-MS).

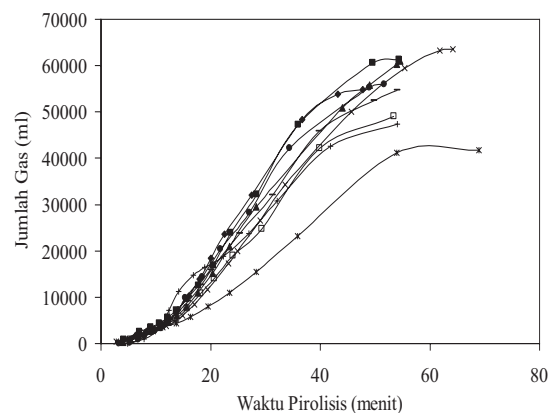
### Hasil dan Pembahasan

**Tabel 2. Data Perbandingan Jumlah Padatan, Cair dan Gas Hasil Pirolisis (Berat Sampel = 200 Gram)**

Sampel	Padatan (gr)	Cair (ml)	Gas (ml)	Waktu (menit)
Tanpa katalis	61,89	52	54800	47,80
Katalis serbuk 50 gram	79,17	55	61250	54,32
Katalis serbuk 100 gram	81,4	76	60950	54,53
Katalis serbuk 150 gram	85,52	85	63600	64,21
Katalis serbuk 200 gram	35,83	95	41700	68,95
Katalis bongkahan 423,82 gram	46,64	34	54700	54,08
Katalis bongkahan 646,60 gram	46,62	26	49000	53,40
Katalis bongkahan 904,25 gram	52,60	23	47400	54,08
Katalis bongkahan 1143 gram	51,86	18	55900	51,63

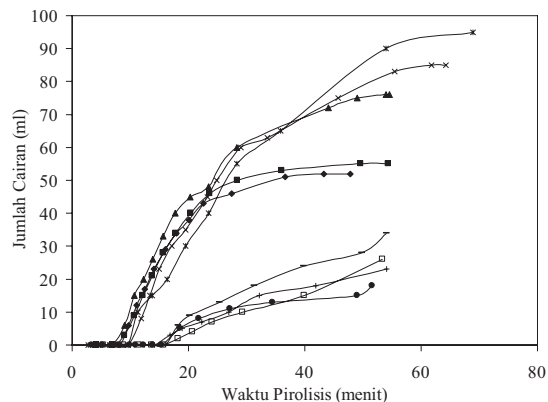
Dari Tabel 16 dapat dilihat bahwa jumlah padatan hasil pirolisis pada sampel dengan katalis serbuk 200 gram dalam reaktor lebih sedikit dibanding pada sampel yang lain. Hal ini disebabkan karena katalis meningkatkan reaksi dekomposisi yang mengakibatkan semakin banyaknya hidrokarbon rantai

panjang yang terpecah menjadi hidrokarbon rantai pendek sehingga semakin banyak gas yang terbentuk dan padatan yang dihasilkan semakin sedikit.



**Gambar 2.** Hubungan antara waktu pirolisis dengan jumlah gas hasil pirolisis: (◆), tanpa katalis; (■), dengan katalis serbuk 50 gram dalam reaktor; (▲), dengan katalis serbuk 100 gram dalam reaktor, (x), dengan katalis serbuk 150 gram dalam reaktor; (★), dengan katalis serbuk 200 gram dalam reaktor; (●), dengan katalis bongkahan 1 bagian tabung katalis (1143,67 gram); (+), dengan katalis bongkahan  $\frac{3}{4}$  bagian tabung katalis (904,25 gram); (□), dengan katalis bongkahan  $\frac{1}{2}$  bagian tabung katalis (646,60 gram); (-), dengan katalis bongkahan  $\frac{1}{4}$  bagian tabung katalis (423,82 gram).

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa jumlah gas hasil pirolisis pada sampel dengan katalis serbuk 200 gram dalam reaktor lebih sedikit dibanding pada sampel tanpa katalis. Hal ini disebabkan karena gas hasil pirolisis mudah terkondensasi serta memiliki waktu pirolisis yang paling lama sehingga banyak gas yang terkondensasi menjadi cairan.



**Gambar 3.** Grafik hubungan antara waktu pirolisis dengan jumlah cairan hasil pirolisis: (◆), tanpa katalis; (■), dengan katalis serbuk 50 gram dalam reaktor; (▲), dengan katalis serbuk 100 gram dalam reaktor, (x), dengan katalis serbuk 150 gram dalam reaktor; (★), dengan katalis serbuk 200 gram dalam reaktor; (●), dengan katalis bongkahan 1 bagian tabung katalis (1143,67 gram); (+), dengan katalis bongkahan  $\frac{3}{4}$  bagian tabung katalis (904,25 gram); (□), dengan katalis bongkahan  $\frac{1}{2}$  bagian tabung katalis (646,60 gram); (-), dengan katalis bongkahan  $\frac{1}{4}$  bagian tabung katalis (423,82 gram).

gram); (-), dengan katalis bongkahan ¼ bagian tabung katalis (423,82 gram).

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa jumlah cairan hasil pirolisis pada sampel dengan katalis serbuk dalam reaktor lebih banyak dibanding pada sampel tanpa katalis. Semakin banyak jumlah katalis serbuk dalam reaktor maka semakin banyak pula jumlah cairan hasil pirolisis. Hal ini disebabkan karena katalis meningkatkan reaksi dekomposisi yang mengakibatkan semakin banyaknya hidrokarbon rantai panjang yang terpecah menjadi hidrokarbon rantai pendek sehingga semakin banyak gas yang terbentuk yang kemudian terkondensasi menjadi cairan hasil pirolisis.

Jumlah cairan hasil pirolisis pada sampel dengan katalis bongkahan dalam tabung katalis lebih sedikit dibanding pada sampel tanpa katalis. Semakin banyak jumlah katalis bongkahan dalam tabung katalis maka semakin sedikit jumlah cairan hasil pirolisis. Hal ini disebabkan karena sebagian cairan hasil pirolisis menempel pada permukaan katalis yang berada di dalam tabung katalis dan katalis tidak kontak langsung dengan serbuk kayu sehingga katalis tidak berperan dalam mempercepat proses pirolisis.

Dari semua sampel hasil cair penelitian diuji menggunakan alat Kromatografi Gas Spektroskopi Massa (GC-MS) untuk mengetahui kandungan zat dalam sampel. Sampel yang diuji sebanyak 3 sampel, yaitu : sampel tanpa katalis dan 2 sampel dengan hasil cair terbanyak pada masing-masing bentuk katalis yaitu sampel dengan katalis bongkahan ¼ bagian tabung katalis dan sampel dengan katalis serbuk 200 gram dalam reaktor.

**Tabel 3. Data Hasil Uji Sampel Tanpa Katalis**

Peak ke-	% Total	Kandungan
1	18,420	<i>Acetic acid</i>
4	10,019	<i>2-Propanone</i>
12	9,367	<i>Phenol</i>
3	6,311	<i>Propane</i>
7	5,988	<i>2-Cyclopenten-1-one</i>
5	5,642	<i>Butanoic acid</i>
18	4,588	<i>1,2-Benzenediol</i>
15	4,033	<i>m-Cresol</i>

**Tabel 4. Data Hasil Uji Sampel dengan Katalis Bongkahan ¼ Bagian Tabung Katalis**

Peak ke-	% Total	Kandungan
3	24,192	<i>Acetic acid</i>
4	8,216	<i>2-Propanone</i>
15	7,973	<i>Phenol</i>
8	7,489	<i>2-Furancarboxaldehyde</i>

18	5,146	<i>m-Cresol</i>
22	4,540	<i>1,2-Benzenediol</i>
9	4,273	<i>2-Furanmethanol</i>
7	3,834	<i>Cyclopentanone</i>

**Tabel 5. Data Hasil Uji Sampel dengan Katalis Serbuk 200 Gram dalam Reaktor**

Peak ke-	% Total	Kandungan
3	26,758	<i>Acetic acid</i>
15	12,940	<i>Phenol</i>
8	8,561	<i>Furfural</i>
4	7,932	<i>2-Propanone</i>
18	5,018	<i>m-Cresol</i>
7	3,474	<i>1,2-Ethandiol</i>
19	3,018	<i>2-Methoxy</i>
9	2,963	<i>2-Cyclopenten-1-one</i>

Dari Tabel 13, 14 dan 15 dapat dilihat bahwa kandungan senyawa terbanyak dalam sampel yaitu *Acetic Acid* (Asam Asetat) dan *Phenol* (Fenol).

### Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa jumlah padatan hasil pirolisis pada sampel dengan katalis serbuk 200 gram dalam reaktor lebih sedikit dibanding pada sampel yang lain, jumlah gas hasil pirolisis pada sampel dengan katalis serbuk 200 gram dalam reaktor lebih sedikit dibanding pada sampel tanpa katalis dan jumlah cairan hasil pirolisis pada sampel dengan katalis serbuk dalam reaktor lebih banyak dibanding pada sampel tanpa katalis. Semakin banyak jumlah katalis serbuk dalam reaktor maka semakin banyak pula jumlah cairan hasil pirolisis. Jumlah cairan hasil pirolisis pada sampel dengan katalis bongkahan dalam tabung katalis lebih sedikit dibanding pada sampel tanpa katalis. Semakin banyak jumlah katalis bongkahan dalam reaktor maka semakin sedikit jumlah cairan hasil pirolisis.

Kandungan senyawa terbanyak dalam sampel yaitu *Acetic Acid* (Asam Asetat) dan *Phenol* (Fenol).

### Daftar Pustaka

- Beltrame, P. and Carniti, P., 1989, Catalytic Degradation of Polymer: Part II – Degradation of Polyethylene, *Polym. Deg. Stabil.*, 26, 209-220
- Bridgwater, A.V., 2005, Biomass Fast Pyrolysis, *Thermal Science*, 8(2), 21-49
- Fengel D., G. Wegener, H. Sostrohmidjojo, 1993, *Kayu, Kimia, Ultrastruktur, reaksi-reaksi*, 7-26 Gadjah Mada University Press, Yogyakarta,



- Manos, G., Garforth, A., and Dwyer, J., 2000, Catalyst Degradation of High Density Polyethylene Over Different Zeolite Structure, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 39, 1198
- Perry R. H., and Green, D. W., 2007, *Perry's Chemical Engineers Handbook*, 8<sup>th</sup> ed., Mc Graw Hill Book Company, New York
- Scheirs, J. and Kaminsky, W., 2006, *Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics : Converting Waste Plastics into Diesel and Other Fuels*, John Willey and Son, Ltd., New York
- Sheth, P.N. and Babu, B.V., 2006, Kinetic Modelling of the Pyrolysis of Biomass, *Proceedings of National Conference on Environmental Conservation*", 453-458
- Sjostroom E., 1993, *Wood Chemistry, Fundamentals and Applications*, 2<sup>nd</sup>, 15-26, Academic Press Inc., Orlando, USA
- Trisunaryanti *et al.*, 1996, *Characterization and Modification of Indonesia Natural Zeolites and Their properties for Hydrocracking of Parafin*, Vol. 39, No.1, Sekiyu Gakkaishi, Osaka,
- Uemichi, Y., Ayame, A., Kashiwaya. Y. And Kanoh, H., 1983, Gas Chromatographic Determination of the Products of Degradation of Polyethylene over a Silica-Alumina Catalyst, *J. Chromatogr.*, 259, 69-77
- Walendzie, J. and Steininger, M., 2001, *Catal. Today*, 65, 323
- Walker J.C.F., 1993, Dimensional Instability of Timbers, dalam *Primary Wood Processing, Principles and Practice*, Bab 4, Walker, J.C.F, editor, Chapman & Hall, London, 114