

Konversi Plastik Menjadi Senyawa Alkana Rantai $C_6 - C_{12}$ Menggunakan Katalis Ni/Zeolit dan Zn/Zeolit

Conversion Plastic to be Alkanes Compound of Chain $C_6 - C_{12}$ Using Ni /Zeolit and Zn /Zeolit Catalyst

Donatus Setyawan Purwo Handoko dan Wahid Hasyim

Universitas Jember, Fakultas MIPA Kimia
Jl. Kaimantan 37, Jember
Telepon: +6281229307700

E-mail: kreka_zeolit@yahoo.com, desetyawanpeha@gmail.com

Teregistrasi I tanggal 11 November 2014; Diterima tanggal 2 Desember 2014; Disetujui terbit tanggal: 30 April 2015

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian konversi plastik menjadi senyawa alkana dengan panjang rantai C_6-C_{12} menggunakan katalis Ni/zeolit dan Zn/zeolit serta reaktor sistem fixed bed. Katalis Ni/zeolit dan Zn/zeolit dipreparasi melalui teknik perendaman dalam air, kalsinasi, oksidasi, impregnasi basah logam Ni dan Zn dan reduksi. Kalsinasi, oksidasi dan reduksi dilakukan pada suhu 500°C dengan laju alir gas (nitrogen, oksigen atau hidrogen) 20 mL/menit. Hasil yang diperoleh dari perengkahan plastik menjadi senyawa alkana dengan panjang rantai C_6-C_{12} adalah 77,02 % untuk jenis katalis Zn/zeolit dan 76,87% untuk jenis katalis Ni/zeolit.

Kata Kunci: katalis Ni/zeolit, katalis Zn/zeolit, plastik, senyawa alkana.

ABSTRACT

Has done research into the conversion of plastic compounds with long-chain alkanes $C_6 - C_{12}$ using the catalyst Ni zeolite and Zn/zeolite and the fixed bed reactor system. Catalyst Ni/zeolite and Zn/zeolite prepared through immersion technique, calcination, oxidation, wet impregnation of Ni and Zn metal and reduction. Calcination, oxidation and reduction is carried out at a temperature of 500°C with a flow rate of gases (nitrogen, oxygen or hydrogen) 20 mL/min. The results obtained from the cracking of plastic into a compound alkanes with chain lengths $C_6 - C_{12}$ is 77.02% for the type of catalyst Zn/zeolite and 76.87% for the type of catalyst Ni/zeolite.

Keywords: Ni/zeolit catalyst, Zn/zeolit catalyst, plastic, alkane compounds.

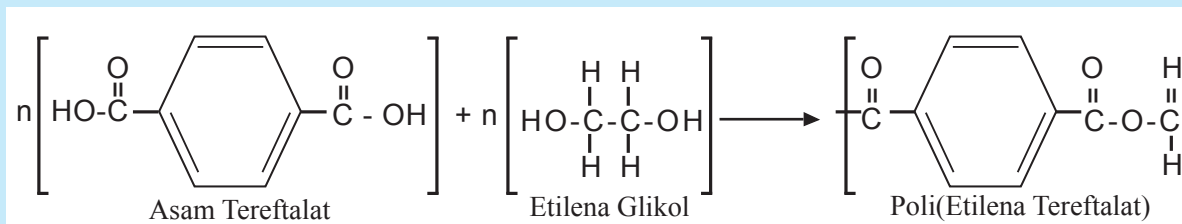
I. PENDAHULUAN

Plastik digolongkan bahan yang sulit untuk didegradasi, plastik membutuhkan waktu yang relatif sangat lama untuk dapat didegradasi oleh alam (Ofoma, 2006). Metode yang digunakan untuk mengkonversi plastik menjadi bahan bakar cair adalah melalui reaksi perengkahan plastik, baik perengkahan termal (pirolisis) maupun perengkahan katalitik (Junya 2004; Ofoma 2006). Pemanfaatan sampah plastik sebagai sumber bahan bakar cair, merupakan salah satu metode yang dapat dilaksanakan untuk mengurangi masalah yang ditimbulkan oleh sampah plastik.

Junya et al. (2004) berhasil mengkonversi limbah plastik menjadi fraksi bahan bakar cair sebesar 59,5%

berat, dengan BTX (benzena, toluena dan xylene) sebagai produk terbanyak (60% dari total produk fraksi bahan bakar cair). Penelitian yang dilakukan oleh Trisunaryanti (1996) berhasil mengkonversi plastik menjadi bahan bakar cair yang memiliki distribusi titik didih lebih rendah dari pada minyak diesel ketika menggunakan katalis jenis zeolit alam.

Plastik merupakan polimer yang tersusun atas banyak monomer, seperti polietilena, polipropilena, poli(vinil klorida) dan lain-lain. Plastik secara umum dibedakan menjadi dua jenis, yaitu termoplastik dan termoset. Termoplastik umumnya merupakan turunan etilena yang memiliki sifat fisik lunak jika dipanaskan dan keras jika didinginkan. Sedangkan plastik termoseting akan mengalami perubahan kimia



Gambar 1
Polimerisasi Poli(etilena tereftalat) dari asam tereftalat.
 (Saunders,1994; Stevens, 2001)

jika dipanaskan, secara fisik plastik jenis ini akan lunak pada awal pemanasan, kemudian mengeras secara permanen (Stevens 2001) seperti gambar 1.

Poli(etilena tereftalat) (PET) merupakan poliester linier yang paling banyak digunakan. PET dapat dipreparasi dari asam tereftalat (padatan putih dengan titik sublimasi 300°C) dan etilena glikol (cairan tidak berwarna dengan titik didih 197°C), polimer ini bisa dipreparasi dalam padatan atau dalam larutan dengan memakai etilena glikol berlebih untuk menaikkan laju esterifikasi. Proses ini mula-mula menghasilkan poliester terterminasi hidroksil yang berat molekulnya rendah, yang kemudian ditransesterifikasi dengan lepasnya glikol berlebih untuk memperoleh polimer dengan berat molekul tinggi (Saunders 1994; Stevens 2001) seperti pada Gambar 1.

Asam tereftalat memiliki titik lebur tinggi dan sangat tidak larut dalam sebagian besar pelarut umum. Karena alasan inilah, lebih sering digunakan reaksi transesterifikasi dimetil tereftalat (padatan putih dengan titik leleh 142°C) dengan etilena glikol untuk membuat poli(etilena tereftalat). Reaksi transesterifikasi tersebut melibatkan suatu pertukaran ester awal untuk membentuk suatu diester dan melepaskan metanol, yang diikuti pertukaran kedua untuk membentuk polimer (Saunders 1994; Stevens 2001).

Polipropilena (PP) adalah poliolefin yang memiliki titik leleh $155 - 160^{\circ}\text{C}$ pada homopolimernya dan $160 - 165^{\circ}\text{C}$ pada kopolimer bloknya. PP diproduksi secara komersial menggunakan katalis Ziegler-Natta dengan proses polimerisasi fase cair dalam propilena cair (C_3H_6) pada temperatur 55°C

dan tekanan 20 atm, dengan reaksi sebagai berikut (seperti pada Gambar 2).

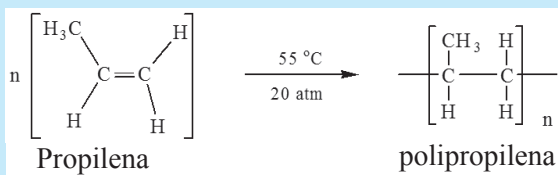
PP memiliki sifat resistansi yang baik terhadap bahan kimia, tahan panas, barrier air dan mudah diproses. Oleh karena itu, banyak digunakan sebagai botol kecap, botol obat, tempat air minum dan lain-lain (Saunders 1994). Polietilena merupakan poliolefin yang terbentuk dari polimerisasi etilena (C_2H_4) dengan reaksi seperti berikut:

Plastik jenis PE banyak digunakan untuk bagian dalam mesin cuci, komponen mobil, kursi, tangkai pegangan, kotak, keranjang, pipa, isolator listrik, kemasan (lembaran tipis) untuk makanan dan barang (Billmeyer 1991). Polietilena dibagi menjadi produk massa jenis rendah (LDPE: *Low-density Poly Ethylene*) dengan massa jenis lebih kecil dari $0,94 \text{ g/cm}^3$. Dan produk massa jenis tinggi (HDPE: *High-density Poly Ethylene*) yang merupakan polimer etilena linier dengan massa jenis lebih dari $0,92 - 0,99 \text{ g/cm}^3$, sehingga lebih rapat, lebih kuat, dan bertitik lebur lebih tinggi dari pada LDPE (Oxford University 1999).

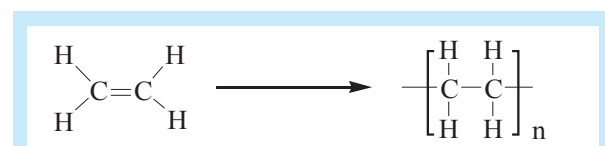
Yang menjadi permasalahan utama adalah bahwa sampah plastik berisifat tidak dapat diperbaharui dalam waktu yang singkat, jumlahnya sangat melimpah dan mengganggu estetika lingkungan. Oleh karena itu timbul permasalahan utama yaitu bagaimana mengolah sampah plastik sehingga menjadi senyawa yang bermanfaat.

Bahan dan Metode

Alat dan Bahan



Gambar 2
Polimerisasi Polipropilena
 (Saunders, 1994)



Gambar 3
Polimerisasi Polietilena

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: peralatan gelas, neraca analitik, termometer, kolom aktivasi, kolom pirolisis, reaktor jenis *fixed bed*, oven, GC, *Analyser Surface Area*, Spektrofotometer AAS, pengaduk, saringan, wadah plastik, alat refluks, cawan porselin dan krus teflon.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: zeolit alam dari PT. Prima Zeolita Wonosari Yogyakarta, serpihan plastik PP, kristal NiCl₂.6H₂O, kristal ZnSO₄.6H₂O, gas nitrogen (N₂), gas oksigen (O₂), larutan HF 1% dan 4%, larutan HCL 6M, larutan NH₄Cl 1M, larutan aquaregia (HNO₃(pa): HCL(pa) = 1:3), larutan NH₄OH (gas NH₃), *glass wool*, akuades, garam dan es.

II. BAHAN DAN METODE

Prosedur Pembuatan Katalis Ni/zeolit dan Zn/zeolit

Zeolit alam dicuci dalam erlenmeyer dan dikeringkan dengan alat *vacum drying oven* kemudian dilanjutkan dengan kalsinasi dengan mengalirkan gas nitrogen pada temperatur 500°C selama 4 jam. Kemudian dioksidasi menggunakan oksigen pada temperatur 400°C selama 1,5 jam (Handoko 2001).

Zeolit alam direndam dalam larutan HF 1% dengan perbandingan volume 1:2 dalam gelas beaker selama 10 menit pada temperatur kamar. Kemudian disaring dan dicuci berulang-ulang dengan akuades sampai pH 6. Endapan zeolit alam kemudian direfluks dengan menggunakan HCl 6M selama 30 menit pada temperatur 90°C sambil diaduk dengan pengaduk magnetik. Setelah itu dilanjutkan dengan penyaringan dan pencucian dengan akuades hingga pH 6, dikeringkan dalam oven pada temperatur 130°C selama 3 jam (Trisunaryanti 1991).

Selanjutnya adalah penambahan NH₄Cl 1M ke dalam zeolit kemudian dipanaskan pada temperatur 90°C selama 3 jam setiap hari selama 6 hari sambil diaduk setiap satu jam selama pemanasan. Setelah itu, disaring dan dicuci dengan akuades hingga pH 6, kemudian dikeringkan dalam oven pada

temperatur 130°C selama 3 jam. Setelah dingin dihaluskan dan diletakkan dalam cawan porselin. Selanjutnya dipanaskan pada temperatur 500°C selama 4 jam dalam tanur lalu didinginkan kembali sehingga diperoleh zeolit alam dengan pengasaman (NZA) (Khairinal 2000).

Katalis NZA kemudian dihidrotermal dengan cara mengalirkan uap air selama 5 jam pada temperatur 500°C, didinginkan dan dilanjutkan dengan proses kalsinasi dengan dialiri gas nitrogen, selama 3 jam pada temperatur 500°C, kemudian didinginkan. Proses dilanjutkan dengan oksidasi dengan gas oksigen, selama 1,5 jam pada temperatur 400°C (Handoko 2001). Selanjutnya didinginkan dan diperoleh katalis H5NZA.

Pembuatan katalis Ni/H5NZA (Ni/zeolit) dilakukan dengan cara pengembunan logam Ni pada katalis H5NZA melalui proses impregnasi dengan metode semi basah, yaitu dengan cara mencampur katalis H5NZA dan larutan NiCl₂.6H₂O pada temperatur 90°C sambil diaduk sampai terbentuk serbuk dan diperoleh katalis Ni(II)/H5NZA. Sedangkan katalis Zn(II)/H5NZA (Zn/zeolit) dibuat dengan cara pengembunan logam Zn pada katalis H5NZA melalui proses impregnasi dengan metode semi basah, yaitu dengan cara mencampur katalis H5NZA dan larutan ZnSO₄.6H₂O pada temperatur 90°C sambil diaduk sampai terbentuk serbuk dan diperoleh katalis Zn(II)/H5NZA. Perbandingan berat H5-NZA dan berat NiCl₂.6H₂O serta ZnSO₄.6H₂O yang diembankan, seperti pada Tabel 1.

Setelah selesai, sampel katalis dikalsinasi dengan gas nitrogen berkecepatan ±5 mL/detik pada temperatur 500°C selama 3 jam. Pada proses kalsinasi, sampel katalis ditempatkan dalam reaktor aktivasi dan dipanaskan pelan-pelan hingga temperatur 500°C sambil dialiri gas nitrogen dengan kecepatan ±5 mL/detik. Setelah temperatur mencapai 500°C, dipertahankan selama 3 jam, dilanjutkan dengan proses oksidasi dengan cara mengalirkan gas oksigen dengan kecepatan ±5 mL/detik, temperatur 500°C selama 2 jam kemudian didinginkan (Handoko

Tabel 1
Perbandingan berat NiCl₂.6H₂O dan Berat ZnSO₄.6H₂O (2% b/b) dalam 100 gram Katalis

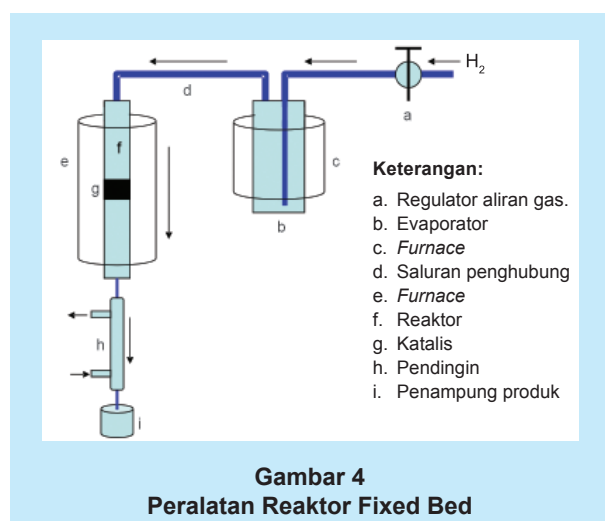
No.	Jenis Logam	Berat Logam (gram)	Berat H ₅ -NZA (gram)	Berat Kristal Logam (gram)
1	Ni	2	98	8,1
2	Zn	2	98	8,24

Catatan: BM ZnSO₄.6H₂O = 269,44 g/mol, BM NiCl₂.6H₂O = 237,6 g/mol

2001). Dari proses tersebut diperoleh katalis Ni/zeolit dan Zn/zeolit.

Prosedur Perengkahan Plastik dengan Menggunakan Katalis Ni/zeolit dan Zn/zeolit

Katalis diuji-cobakan dalam reaksi perengkahan terhadap plastik pada kisaran temperatur 350-450°C (*variable temperature*: 350, 400 dan 450°C) menggunakan reaktor *fixed bed*. Prosedur uji aktivitas katalis dilakukan dengan meletakkan sampel katalis sebanyak 2,5 gram dimasukkan ke



Gambar 4
Peralatan Reaktor Fixed Bed

dalam kolom reaktor dan 5 gram pirolat plastik diletakkan ke dalam evaporator. Selanjutnya dilakukan penyusunan alat seperti dalam Gambar 4. Pemanas kolom (*furnace*) reaktor katalitik (tempat katalis) dipanaskan pada kisaran temperatur 350-450°C dengan mengatur regulator tegangan. Setelah proses katalitik selesai, produk ditempatkan dalam botol yang bersih kemudian dianalisis dengan menggunakan alat GC-MS.

III. HASIL DAN DISKUSI

Perengkahan Plastik Secara Termal

Perengkahan secara termal plastik dilakukan pada temperatur 400-500°C terhadap 10 gram sampel plastik menggunakan reaktor. Profil pemanasan diatur agar reaktor mencapai temperatur 400°C dalam waktu 30 menit dan mencapai temperatur 500°C dalam waktu 1,5 jam. Pada temperatur tinggi persentase pemutusan rantai cukup efektif (madorsky dan Flynn dalam Stevens 2001). Sehingga pada perengkahan termal plastik diperoleh senyawa-senyawa yang lebih pendek dengan panjang rantai yang relatif tidak beraturan dibandingkan produk depolimerisasi. Pada perengkahan termal pertama

diperoleh 5,4 g produk yang berwujud padat pada temperatur 25°C. Oleh karena itu dilakukan perengkahan termal ke-dua untuk memperoleh produk yang berwujud cair pada temperatur 25°C. Pada perengkahan termal pirolat plastik, diperoleh rata-rata 4 g produk cair dan 0,4 g kokas.

Perengkahan Termal Pirolat Plastik PP

Pada perengkahan sampel pirolat plastik (hasil pirolisis plastik) PP, mulai diperoleh produk pada temperatur antara 400 sampai dengan 450°C dan dibutuhkan waktu 2-2,5 jam untuk memperoleh 100% produk. Produk perengkahan termal pirolat plastik PP memiliki warna kuning jernih. Berdasarkan kromatogram produk, diperoleh 165 puncak kromatogram produk perengkahan termal plastik PP. Sehingga berdasarkan banyaknya senyawa yang dihasilkan dari proses perengkahan termal yang telah dilakukan dalam penelitian ini, dapat diambil suatu hipotesis bahwa mekanisme pembentukan

Tabel 2
Sebaran Puncak Kromatogram
Produk Perengkahan Termal Pirolat Plastik PP
pada Temperature 450 °C

T_R (menit)	Jumlah Puncak	Konsentrasi (%)
<10	44	33,54
10 – 20	84	55,61
>20	37	10,84

produk melalui reaksi depolimerisasi sangat kecil dan sebagian besar melalui mekanisme pemutusan rantai secara acak, seperti pada Tabel 2.

Perengkahan Katalitik Plastik

Perengkahan katalitik plastik dilakukan pada temperatur 350-450°C terhadap 5 g sampel pirolat plastik menggunakan reaktor *fixed bed*. Profil pemanasan diatur agar reaktor mencapai temperatur 350°C dalam waktu 30 menit dan mencapai temperatur 450°C dalam waktu 1,5 jam terhitung mulai awal pemanasan. Dalam perengkahan katalitik pirolat plastik yang telah dilakukan dalam penelitian ini diperoleh produk rata-rata sebanyak 4,2 g atau sekitar 84%. Pada proses ini juga diperoleh produk yang berwujud gas yang tidak tertampung dalam botol produk dan produk yang tertinggal dalam reaktor berupa kokas rata-rata sebanyak 0,5 g.

- Perengkahan katalitik menggunakan katalis Ni/zeolit

Pada produk perengkahan katalitik pirolat plastik PP pada tempertur 450°C menggunakan katalis

Tabel 3
Sebaran Puncak Kromatogram Produk Perengkahan Katalitik Pirolat Plastik Pp Menggunakan Katalis Ni/Zeolit pada Temperature 450°C

T _R (menit)	Jumlah puncak	Konsentrasi (%)
< 10	52	54,76
10 – 20	68	43,70
> 20	5	1,14

Ni/zeolit diperoleh lebih dari 98% senyawa dalam produk memiliki waktu retensi dibawah 20 menit, hasil analisis menggunakan GC-MS disjikan dalam

Pada perengkahan katalitik menggunakan katalis Ni/zeolit diperoleh produk yang meningkat pada waktu retensi <10 yaitu 54,76% dibandingkan saat perengkahan secara termal yaitu 33,54% keadaan ini kemungkinan disebabkan terjadi peningkatan aktivitas katalis Ni/zeolit. Produk yang dihasilkan dari perengkahan secara katalitik dengan menggunakan katalis Ni/zeolit menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan secara termal (Gambar 5).

- **Perengkahan katalitik menggunakan Katalis Zn/zeolit**

Pada produk perengkahan katalitik pirolat plastik PP menggunakan katalis Zn/zeolit diperoleh lebih dari 98% senyawa dalam produk memiliki waktu retensi dibawah 20 menit, hasil seperti

Tabel 4
Sebaran Puncak Kromatogram Produk Perengkahan Katalitik Pirolat Plastik Pp Menggunakan Katalis Zn/Zeolit

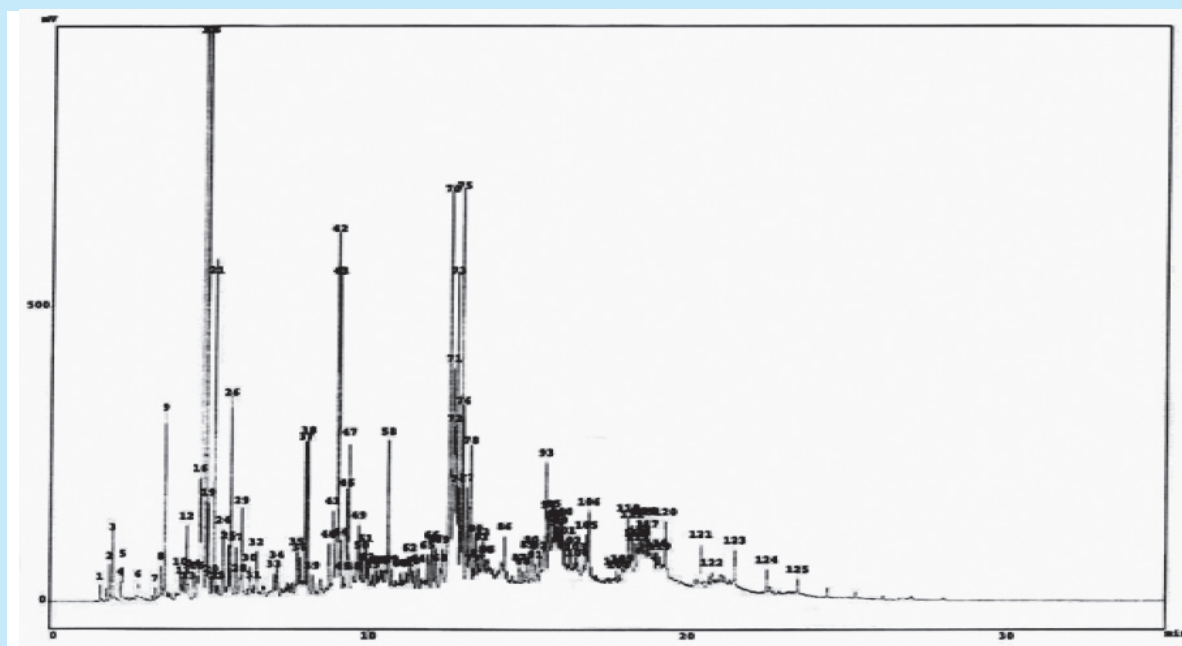
T _R (menit)	Jumlah Puncak	Konsentrasi (%)
< 10	55	60,95
10 – 20	55	37,69
> 20	7	1,36

pada Table 4.

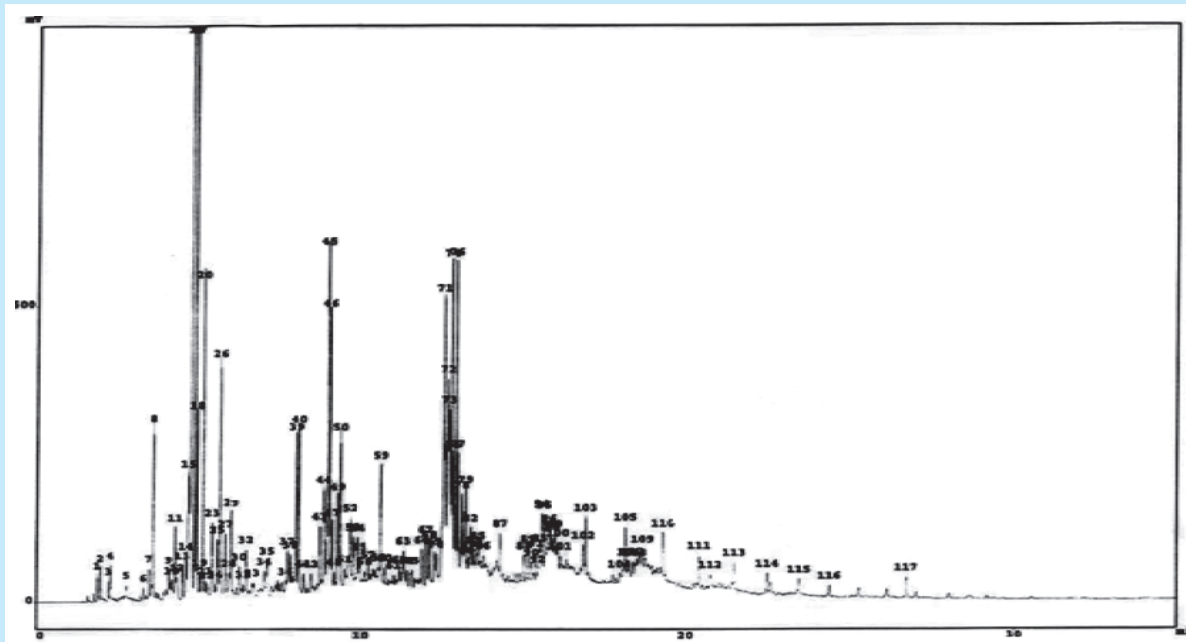
Pada perengkahan menggunakan katalis Zn/zeolit menunjukkan hasil bahwa reaksi perengkahan berlangsung lebih baik dibandingkan saat digunakan katalis Ni/zeolit. Keadaan ini menunjukkan bahwa katalis Zn/zeolit cenderung lebih aktif dibandingkan saat digunakan katalis Ni/zeolit yang dikarenakan konfigurasi electron untuk Zn lebih rapat dikarenakan jari-jari atomnya lebih kecil dibandingkan Ni, Ni memang lebih banyak *electron* yang belum berpasangan tetapi untuk Ni setelah menyerap *electron* mempunyai kecenderungan sulit untuk melepaskan electron yang terserab.

Aktivitas katalis pada perengkahan pirolat plastik PP

Penggunaan katalis dalam perengkahan pirolat plastik ternyata menghasilkan produk dengan



Gambar 5
Kromatogram Produk Perengkahan Katalitik Pirolat Plastik PP Menggunakan Katalis Ni/Zeolit



Gambar 6
Kromatogram produk perengkahan katalitik pirolat plastik PP menggunakan katalis Zn/zeolit

kelimpahan di daerah waktu retensi kurang dari 20 menit yang lebih besar daripada produk perengkahan termal. Penggunaan katalis dalam perengkahan pirolat plastik PP menyebabkan pergeseran sebaran produk ke daerah waktu retensi kurang dari 10 menit dan terjadi penurunan jumlah produk dengan waktu retensi lebih dari 20 menit. Pada produk perengkahan katalitik pirolat plastik PP terdapat lebih dari 40% produk dengan sebaran waktu retensi di bawah 10 menit (Tabel 5).

Produk perengkahan pirolat plastik PP secara katalitik, terdapat sejumlah produk yang identik dengan hasil perengkahan termal dengan konsentrasi relatif sekitar 23%. Produk tersebut merupakan produk utama yang dihasilkan karena pengaruh termal pada perengkahan katalitik pirolat plastik PP. Sedangkan puncak kromatogram spesifik

yang dimiliki oleh produk perengkahan katalitik pirolat plastik merupakan senyawa-senyawa yang dihasilkan karena pengaruh penggunaan katalis dalam reaksi perengkahan tersebut.

Selektivitas Katalis dalam Pembentukan Produk Bahan Bakar Cair dari Plastik

Penentuan selektivitas katalis dilakukan pada produk perengkahan pirolat plastik PP. Produk perengkahan katalitik pirolat plastik PP dapat dibandingkan langsung dengan bahan bakar cair (bensin dan solar) karena merupakan senyawa hidrokarbon dan memiliki kemiripan (*similarly index*) dengan bensin dan solar saat dianalisis dengan kromatografi gas (seperti Tabel 6).

Penggunaan katalis dalam perengkahan pirolat plastik PP menghasilkan produk di daerah

Tabel 5
Pengaruh penggunaan katalis terhadap sebaran puncak produk perengkahan pirolat plastik PP

T _R (menit)	Termal		Katalis			
	Jumlah	Konsentrasi (%)	Ni/zeolit		Zn/zeolit	
			Jumlah	Konsentrasi (%)	Jumlah	Konsentrasi (%)
< 10	44	33,54	52	54,76	55	60,95
10 – 20	84	55,61	68	43,70	55	37,69
> 20	37	10,84	5	1,15	7	1,36

Tabel 6
Data Sebaran Puncak Kromatogram Produk Perengkahan Katalitik Pirolat Plastik Pp Berdasarkan Range Bahan Bakar pada Temperature 450°C

DAERAH T _R	PERENKAHAN KATALITIK			
	Ni(II)/H ₅ NZA		Zn(II)/H ₅ NZA	
	JUMLAH	KONSENTRASI (%)	JUMLAH	KONSENTRASI (%)
< Bensin	32	36,57	33	40,1
Bensin	61	53,65	61	53,38
Kerosin	11	2,37	7	1,4
Solar	21	7,41	16	5,13

waktu retensi yang lebih kecil dan meningkatkan pembentukan senyawa yang memiliki waktu retensi di daerah waktu retensi fraksi bensin dan senyawa-senyawa di bawah fraksi bensin (fraksi senyawa dengan TR di bawah 20 menit).

Produk perengkahan plastik PP menggunakan katalis Ni/zeolit dan Zn/zeolit menghasilkan masing-masing 21 dan 16 puncak kromatogram yang memiliki waktu retensi di daerah waktu retensi solar, dan menghasilkan 61 puncak kromatogram yang memiliki waktu retensi di daerah waktu retensi bensin. Sehingga katalis Ni/zeolit memiliki selektivitas yang lebih tinggi daripada Zn/zeolit dalam pembentukan produk yang memiliki waktu retensi di daerah waktu retensi solar, dan memiliki selektivitas yang sama dalam pembentukan produk yang memiliki waktu retensi di daerah waktu retensi bensin.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Konversi plastik menjadi senyawa alkanol dapat dilakukan dengan metode katalitik *cracking* dengan katalis Zn/zeolit dan Ni/zeolit pada *temperature* 350 hingga 450°C menggunakan *reactor system fixed bed*. Hasil yang diperoleh dari perengkahan plastik jenis polypropilen (PP) menjadi senyawa alkanol dengan panjang rantai C₆-C₁₂ adalah sebagai berikut: 77,02 % untuk jenis katalis Zn/zeolit dan 76,87 % untuk jenis katalis Ni/zeolit.

KEPUSTAKAAN

- Dyer, A.**, 1988, An Introduction to Zeolite Molecular Sieves, John Wiley and Sons Ltd., Chichester.
- Derouane, E.G.**, 1992, Zeolite Microporous Solids: Synthesis, Structure, and Reactivity, Kluwer Academic Publishers, London. Harber, J., 1991, Manual on Catalyst Characterization, Pure and Appl. Chem., 63, 9, 1227-1246.
- Handoko, D.S.P.**, 2001, Modifikasi Zeolit Alam dan Karakterisasinya sebagai Katalis Perengkahan Asap

Cair Kayu Bengkirai, Tidak Dipublikasikan. Tesis. Yogyakarta: UGM.

- Hughes, R.**, 1984, Deactivation of Catalyst, Academic Press Inc. Ltd., London.
- Junya, Masaaki, Hironobu, Tadashi, & Nobuhiko**, 2004, Development of Feedstock Recycling Process for Converting Waste Plastics to Petrochemicals. IHI Engineering Review. Vol. 37 No. 2. June 2004.
- Khan, A. K.**, 2002, Research into Biodiesel, Kinetics & Catalyst Development, Department of Chemical Engineering, The University of Queensland, Brisbane.
- Kloprogge T.J., Doung Loc V., & Ray L. Frost**, 2005, A Review of The Synthesis and Characterization of Pillared Clays and Related Porous Material for Cracking of Vegetable Oil to Produce Biofuel, Env. Geo. J, 47, 7, 967-981.
- Knothe, G.**, 2005, Dependence of Biodiesel Fuel Properties on the Structure of Fatty Acid Alkyl Esters, Fuel Process. Technol., 86, 1059– 1070.
- Knothe, G.**, 2000, Monitoring a Progressing Transesterification Reaction by Fiber-Optic Near Infrared Spectroscopy with Correlation to 1H Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy, J. Am. Oil Chem. Soc., 77, 94, 489–493.
- Ketaren**, 1986, Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan, Universitas Indonesia Press, Jakarta.
- Kunkeler P.J.**, 1998, Zeolite Beta: The Relationship between Calcination Procedure, Aluminum Configuration, and Lewis Acidity, J. Catal. 180, 234.
- Laidler, K., J.**, 1950, Chemical Kinetics, 1st edition., McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.
- Lowell, S. & Shields, J.E.**, 1984, Powder Surface Area and Porosity, 2nd edition, Chapman and Hall, New York.
- Martinez, T.J., Diaz, C.M.J., Camblor, M.A., Fornes, V., Maesen, T.L.M. & Corma, A.**, 1999, The Catalytic Performance of 14-Membered Ring Zeolites, J. Catal., 182, 463-469.
- May, C. Y.**, 2004, Transesterification of Palm Oil: Effect of Reaction Parameters, J. Oil Palm Res., 16, 2, 1-11.

- Ofoma, I.**, 2006, Catalytic Pyrolysis of Polyolefins. Published. Thesis. Georgia: Georgia Institute of Technology.
- Oxford University.**, 1999. Polymer Data Handbook. New York: Oxford University Press, Inc.
- Saunders, K.J.**, 1994. Organic Polymer Chemistry. 2nd Edition. Glasgow: Chapman and Hall.
- Stevens, M.P.**, 2001. Kimia Polimer. Diterjemahkan oleh Dr. Ir. Iis Sopyan, M.Eng. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Sang, O.Y.**, 2003, Biofuel Production From Catalytic Cracking of Palm Oil, Energy Sources J, 9, 25.
- Santos, L.T.**, 2003, Nickel Activation for Hydrogenolysis Reaction on USY Zeolite, Catal. Lett. 92, 81.
- Satterfield, C.N.**, 1980, Heterogeneous Catalysis in Practices, McGraw-Hill Book Co., New York.
- Sayles, S., & Ohmes, R.**, 2005, Clean Fuels: What are the Issues ?, Hydrocarbon Process.:2, 84, 39-43.
- Trisunaryanti**, et al. 1996. Characterization and Modification of Indonesian Natural Zeolites and Their Properties for Hydrocracking of Paraffin. Dalam Journal of The Japan Petroleum Institute. Volume 39. hal. 20-25.
- Trisunaryanti, W.** 2005. "Pengaruh Perlakuan Asam Klorida terhadap Karakter Zeolit Alam Wonosari dan Uji Aktivitas Katalitiknya untuk Perengkahan n-Heksadekana". Dalam Prosiding Seminar Nasional Kimia II. Hal: 112-121.
- Sayles, S., and Ohmes, R.**, 2005, Clean Fuels: What are the Issues ?, Hydrocarbon Process.:2, 84, 39-43.
- Setiaji, B.**, 1990, Penentuan Keasaman Permukaan Padatan Dengan Cara Termal Analisis, Berkala Ilmiah MIPA, FMIPA UGM, Yogyakarta.
- Setyawan, P.H.D.**, 2001, Modifikasi Zeolit Alam dan Karakterisasinya Sebagai Katalis Perengkahan Asap Cair Kayu Bengkirah, Program Pasca Sarjana Kimia UGM, Jogjakarta.
- Sibilia, J.P.**, 1996, A Guide to Materials Characterization and Chemical Analysis, 2nd Edition. VCH Publishers, Inc., New York.
- Smith, K.**, 1992, Solid Support and Catalyst in Organic Synthesis, Ellis Horwood PTR, Prentice Hall, London.
- Sutarti, M. & Rachmawati, M.**, 1994, Zeolit: Tinjauan Literatur, Pusat dokumentasi dan dan Informasi LIPI, Jakarta.
- Sykes & Peter**, 1995, A Primer to Mechanism in Organic Chemistry, Addison Longman Ltd., Edinburgh.
- Treacy, M.M.J., & Higgins, J.B.**, 2001, Collection of Simulated XRD Powder Patterns for Zeolite, Elsevier, Amsterdam
- Van Santen, R.A. & Kramer, G.J.**, 1995, Reactivity Theory of Zeolitic Bronsted Acidic Sites, J. Am. Chem. Soc : Chem. Rev, 95, 637-669.
- West, A.R.**, 1984, Solid State Chemistry and It's Application, John Willey & Sons, New York.
- Wibowo Sulstyo Ary**, 2009, Pengaruh Temperatur Reaksi Terhadap Deaktivasi Katalis Ni/zeolit pada Hidrorengkah 1-oktadekena, Skripsi FMIPA UGM, Yogyakarta.
- Wu Jing**, 2005, Kinetics and Reactor Design, Department of Chemical Engineering, Hong Kong.
- Yoon, C.**, 1997, Hydrogenation of 1,3-butadiene on Platinum Surfaces of Different Structures, Catal. Lett, 46, 37.
- Yuan, W., Hansen, A. C., & Zhang, Q.**, 2005, Vapor Pressure and Normal Boiling Point Predictions for Pure Methyl Esters and Biodiesel Fuels, Fuel, 84, 943-950.
- Zhang, W. & Smirniotis, P.G.**, 1999, Effect of Zeolite Structure and Acidity on the Product Selectivity and Reaction Mechanism for n-Octane Hydroisomerization and Hydrocracking, J. Catal., 182, 400-416.
- Zhilong Yao**, 2008, Research on Hydrogenation of FAME to Fatty Alcohol at Supercritical Conditions, Beijing Institute of Petrochemical Technology, Beijing.