

KONVERSI PLASTIK MENJADI SENYAWA FAKSI BAHAN BAKAR CAIR MELALUI REAKSI PERENKAHAN KATALITIK DENGAN KATALIS NI(II)/H₅NZA

Novita Andarini⁹⁾, Setyawan Purwo H.D.¹⁰⁾

Abstract: *The conversion of plastic to liquid fuel fraction by Ni(II)/H₅NZA catalyst have studied. The reaction was preceded in flow fixed bed system of reactor that was operated at the temperature of 350⁰-450 °C for 1.5-2 hour. Catalyst was prepared through acid (HF 1%, HCl 6 M dan NH₄Cl 0,1 M), hydrothermal, calcination with nitrogen, oxydized with O₂ and impregnation nicel (2% w/w) treatments. Plastic of Polipropilena (PP) was pyrolized at the temperature 400⁰ – 500⁰C to produce pyrolat plastic (liquid). The catalytic process was done by placed pyrolat plastic and Ni(II)/H₅NZA catalyst in the flow fixed bed reactor system. The reactor was operated at temperature of 350⁰-450 °C for 1.5-2 hour. The conversion of plastic to liquid product reach of 98% compounds of time retention < 20 minutes. The activity of Ni-5/H₅-NZA catalyst showed 76,87 % and Ni(II)/H₅-NZA catalyst showed 53,63 % in the selectivity to produced gasoline fraction.*

Keywords : zeolite, nickel, polipropilena, activity, selectivity

Pendahuluan

Sampah plastik sering digolongkan dalam sampah yang tidak dapat didegradasi, karena sampah jenis ini membutuhkan waktu yang relatif sangat lama untuk dapat didegradasi oleh alam (Ofoma, 2006). Pemanfaatan sampah plastik sebagai sumber bahan bakar cair, merupakan salah satu metode yang dapat dilakukan untuk mengurangi masalah yang ditimbulkan oleh sampah plastik. 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).

Pirolisis adalah pemanasan padatan tanpa oksigen yang melibatkan pembentukan radikal bebas. Sedangkan perengkahan katalitik adalah perengkahan termal yang dimodifikasi dengan penambahan katalis. Proses perengkahan dengan

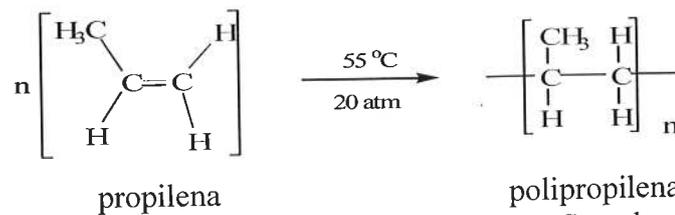
⁹⁾ Novita Andarini adalah staf pengajar Fakultas Farmasi Universitas Jember

¹⁰⁾ Setyawan Purwo H.D adalah staf pengajar Fakultas Farmasi Universitas Jember

menggunakan katalis zeolit akan banyak menghasilkan senyawa fraksi bahan bakar sebagai produknya (Satterfied, 1980). Zeolit ini akan mempunyai aktivitas katalis perengkahan yang baik apabila zeolit tersebut telah dimodifikasi dan diaktivasi. Proses aktivasi pada zeolit dapat dilakukan baik secara fisis maupun secara kimiawi.

Bahan bakar lebih sering dihasilkan oleh destilasi bertingkat dari petroleum, yang juga dikenal sebagai minyak mentah/crude oil. Minyak mentah dipisahkan berdasar atas perbedaan titik didih ke dalam fraksi-fraksi. Selain itu, *gasoline* dapat dibuat dari hidrokarbon lain yang atom karbonnya lebih banyak atau lebih sedikit, dengan jalan perengkahan (*cracking*) maupun penggabungan (*reforming*). Bahan bakar dapat diperoleh dari proses perengkahan hidrokarbon berat atom karbon banyak yang berasal dari plastik. Proses ini pada dasarnya dilakukan melalui proses katalitik. Proses ini lebih murah dibandingkan dengan cara termal, yaitu proses perengkahan dengan temperatur dan tekanan tinggi.

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 jika dipanaskan, secara fisik plastik jenis ini akan lunak pada awal pemanasan, kemudian Polipropilena (PP) adalah poliolefin yang memiliki titik leleh 155 – 160 °C pada homopolimernya dan 160 – 165 °C pada kopolimer bloknya. PP diproduksi secara komersial menggunakan katalis Ziegler-Natta dengan proses polimerisasi fase cair dalam propilena cair (C₃H₆) pada temperatur 55 °C dan tekanan 20 atm, dengan reaksi sebagai berikut.



Gambar 1. Polimerisasi Polipropilena (Sumber: Saunders, 1994)

Polipropilena (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), sehingga plastik polipropilena yang digunakan sebagai senyawa model dalam penelitian ini.

Penelitian yang dilakukan oleh Chung *et al.* (Tanpa Tahun) berhasil mengkonversi plastik jenis LDPE dan PP menjadi bahan bakar cair yang memiliki distribusi titik didih lebih rendah dari pada minyak diesel ketika menggunakan katalis jenis HY, *fly ash* (FA) dan NiO/FA dan Chung *et al.* juga menyajikan data yang menunjukkan hasil konversi plastik LDPE dan PP tanpa katalis (secara pirolisis) memiliki distribusi titik didih yang lebih tinggi dari pada minyak diesel. Sedangkan 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). Sedangkan penelitian Sucipto (2004) dalam studi aktifitas katalis ZAAH₅, Cr(III)-3/ZAAH₅ dan Ni(II)-3/ZAAH₅ pada reaksi perengkahan plastik (polietilena), menghasilkan data bahwa katalis Ni(II)-3/ZAAH₅ memiliki aktifitas yang lebih baik dari pada katalis Cr(III)-3/ZAAH₅.

Dalam penelitian ini dilakukan kajian konversi plastik Polipropilena (PP) menjadi senyawa fraksi bahan bakar cair melalui perengkahan termal dan perengkahan katalitik dengan katalis Ni(II)/H₅NZA. Dengan memperhatikan hasil perengkahan pirolat plastik maka dapat diketahui aktivitas dan selektivitas perengkahan katalitik dengan katalis Ni(II)/H₅NZA. Aktivitas katalis diamati dengan cara membandingkan produk-produk perengkahan pirolat plastik secara termal dengan produk perengkahan pirolat plastik menggunakan katalis Ni(II)/H₅NZA. Sedangkan selektivitas katalis didasarkan pada pembentukan bahan bakar cair (bensin atau solar) dengan cara membandingkan kromatogram produk perengkahan katalitik pirolat plastik dengan kromatogram bahan bakar cair (bensin dan solar).

Metode Penelitian

Pembuatan Katalis

Preparasi katalis dilakukan dengan memodifikasi zeolit alam yang melibatkan proses dealuminasi melalui perlakuan asam (HF 1%, HCl 6 M dan NH_4Cl 0,1 M), proses hidrotermal, kalsinasi dengan N_2 , oksidasi dengan O_2 sehingga dihasilkan H_5NZA . Katalis Ni(II)/ H_5NZA dibuat dengan cara pengembunan logam Ni (2% w/w) pada katalis H_5NZA melalui proses impregnasi semi basah, yaitu dengan cara mencampur katalis H_5NZA dan larutan $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ pada temperatur 90 °C sambil diaduk sampai terbentuk serbuk dan diperoleh katalis Ni(II)/ H_5NZA . Kemudian 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, 2001).

Konversi Plastik secara Termal

Perengkahan termal plastik dilakukan pada temperatur 400 – 500 °C terhadap 10 g sampel plastik. Profil pemanasan diatur agar reaktor mencapai temperatur 400 °C dalam waktu 30 menit dan mencapai temperatur 500 °C dalam waktu 1,5 jam terhitung mulai awal pemanasan. 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 sampel pirolat plastik PP, mulai diperoleh produk pada temperatur antara 400 sampai dengan 450 °C dan dibutuhkan waktu 2 – 2,5 jam untuk mengkonversi 5 gram pirolat plastik dan diperoleh 4 g produk cair. Produk cair yang diperoleh kemudian dianalisis dengan menggunakan alat kromatografi gas.

Konversi Plastik dengan katalis Ni(II)/H₂NZA

Perengkahan katalitik plastik dilakukan pada temperatur 350 – 450 °C terhadap 5 g sampel pirolat plastik . 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 sebanyak 4,2 g atau sekitar 84%. Pada perengkahan katalitik pirolat plastik PP, mulai diperoleh produk pada temperatur sekitar 350 – 400 °C dan dibutuhkan waktu 1,5 – 2 jam untuk mengkonversi 5 gram pirolat plastik dan diperoleh sebanyak 4,2 gram produk cair. Produk cair yang diperoleh kemudian dianalisis dengan menggunakan alat kromatografi gas.

Produk cair hasil perengkahan dianalisa dengan alat Kromatografi Gas dengan kondisi operasi sebagai berikut :

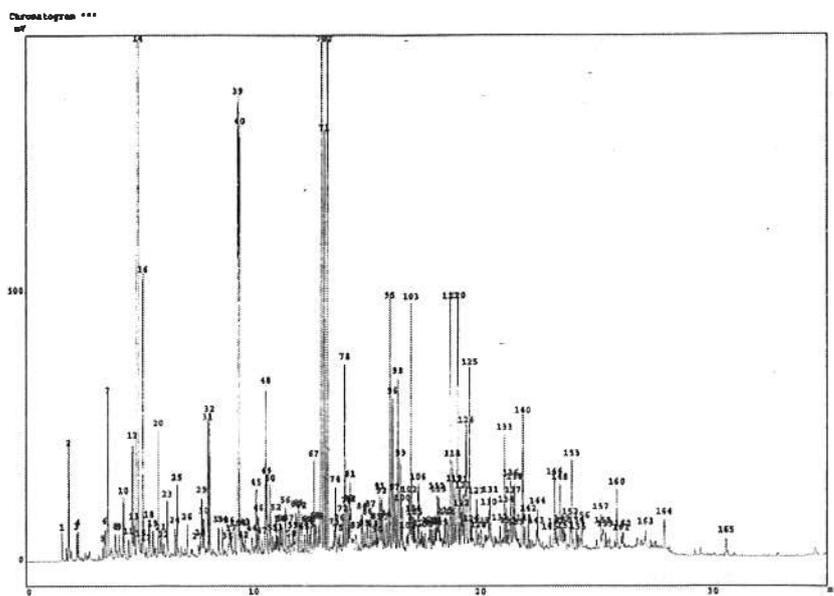
Temperatur kolom	Temperatur awal 40 °C (2 menit) Temperatur akhir 280 °C (kenaikan 10 °C/menit)
Jenis detektor	FID
Temperatur detektor	300 °C
Temperatur injektor	280 °C
Gas pembawa	He split 60 Kpa

Hasil dan Pembahasan

Produk perengkahan termal pirolat plastik PP memiliki warna kuning jernih . Produk dihasilkan pada temperatur antara 400 sampai dengan 450 °C dan dibutuhkan waktu 2 – 2,5 jam untuk memperoleh mengkonversi 5 gram pirolat plastic. Produk fasa cair yang dihasilkan pada perengkahan termal sebanyak 4 gram atau 80 % . Sedangkan pada perengkahan katalitik pirolat plastik, produk diperoleh pada temperatur 400 sampai dengan 450 °C dan dibutuhkan waktu 2 – 2,5 jam untuk

mengkonversi 5 gram pirolat plastik. Produk fasa cair yang diperoleh adalah 82 % atau 4 gram.

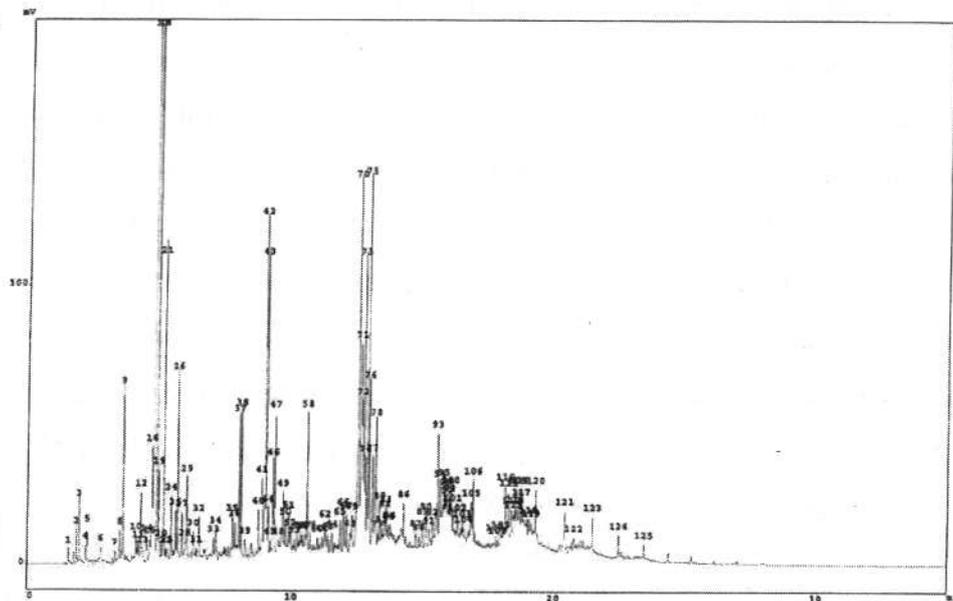
Pada perengkahan termal pirolat plastik PP diperoleh 165 puncak kromatogram produk seperti yang tersaji dalam gambar 2. Puncak – puncak kromatogram merepresentasikan senyawa – senyawa dalam produk, sehingga dapat diketahui bahwa produk yang dihasilkan adalah senyawa – senyawa dengan panjang rantai yang relatif tidak beraturan dibandingkan produk depolimerisasi atau depropagasi. Jadi mekanisme pembentukan produk diduga melalui mekanisme pemutusan rantai secara acak dan kemungkinan melalui reaksi depolimerisasi sangat kecil karena pada temperatur tinggi persentase pemutusan rantai secara acak sangat besar daripada proses depropagasi (madorsky dan Flynn dalam Stevens, 2001).



Gambar 2. Kromatogram Produk Perengkahan Termal Pirolat Plastik PP

Berdasarkan kromatogram produk sebagaimana yang terlihat dalam gambar 3, diperoleh 125 puncak kromatogram pada produk perengkahan katalitik menggunakan katalis Ni(II)/H₅NZA. Produk yang diperoleh sebagian besar merupakan senyawa dengan waktu retensi dibawah 20 menit yaitu lebih dari 98% dimana terdapat lebih dari 40% produk dengan waktu retensi di bawah 10 menit..

Dengan demikian dapat dikatakan bahwa produk cair perengkahan katalitik dengan katalis Ni(II)/H₅NZA menghasilkan senyawa-senyawa yang mayoritas memiliki rantai karbon yang lebih pendek dibandingkan dengan produk perengkahan termal



Gambar 3. Kromatogram Produk Perengkahan Katalitik Pirolat Plastik PP menggunakan Katalis Ni(II)/H₅NZA.

Adanya katalis dalam perengkahan pirolat plastik sangat mempengaruhi produk yang dihasilkan yaitu meningkatkan produk senyawa-senyawa dengan waktu retensi $T_R < 10$ menit dan menurunkan produk senyawa dengan waktu retensi T_R 10-20 dan $T_R > 20$ menit sebagaimana yang tersaji dalam tabel 1. Selain itu katalis Ni(II)/H₅NZA dalam mengkonversi pirolat plastik memerlukan temperatur yang lebih rendah dan waktu yang lebih cepat dibandingkan dengan perengkahan termal

Tabel 1. Pengaruh Penggunaan Katalis terhadap Sebaran Puncak Produk Perengkahan Pirolat plastik PP.

Puncak T_R (menit)	Termal		Ni(II)/H ₅ NZA	
	Jumlah	Konsentrasi (%)	Jumlah	Konsentrasi (%)
< 10	44	33,54	52	54,76
10 – 20	84	55,61	68	43,70
> 20	37	10,84	5	1,15

Aktivitas katalis dalam konversi plastik dalam penelitian ini merupakan produk hasil perengkahan katalitik yang tidak dihasilkan pada perengkahan termalnya. Pada produk perengkahan katalitik pirolat plastik PP terdapat sejumlah produk yang identik dengan hasil perengkahan termal dengan konsentrasi relatif sekitar 23% seperti yang tersaji dalam tabel 2. 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. Besarnya jumlah puncak – puncak spesifik yang dimiliki oleh produk hasil perengkahan katalitik menunjukkan besarnya aktivitas katalis dalam reaksi perengkahan pirolat plastik PP. Jadi sebagaimana yang tersaji dalam table 3, aktivitas katalis Ni(II)/H₅NZA dalam mengkonversi pirolat plastik sebesar 76,87%.

Tabel. 2. Sebaran Puncak Kromatogram Produk Perengkahan Pirolat Plastik PP.

Puncak Identik	Termal		Ni(II)/H ₅ NZA	
	Jumlah	Konsentrasi (%)	Jumlah	Konsentrasi (%)
< 10	25	11,40	22	14,26
10 – 20	30	17,30	25	8,88

Tabel 3. Sebaran Puncak Kromatogram Produk Perengkahan Pirolat Plastik PP.

Puncak Spesifik	Termal		Ni(II)/H ₅ NZA	
	Jumlah	Konsentrasi (%)	Jumlah	Konsentrasi (%)
< 10	19	22,14	30	40,50
10 – 20	54	38,31	43	35,22
> 20	37	10,84	5	1,15

Tabel 4. Data Sebaran Puncak Kromatogram Produk Perengkahan Katalitik Pirolat plastik PP berdasarkan Range Bahan Bakar.

Puncak Daerah T_R	Ni(II)/H ₅ NZA	
	Jumlah	Konsentrasi (%)
< bensin	32	36,57
bensin	61	53,65
antara bensin dan solar	11	2,37
solar	21	7,41

Selektivitas katalis yang didasarkan pada kemampuan katalis dalam pembentukan senyawa fraksi bahan bakar cair (bensin atau solar) didefinisikan sebagai konsentrasi senyawa-senyawa yang terbentuk dalam rentang fraksi bahan bakar cair (bensin atau solar). Produk perengkahan katalitik plastik PP menggunakan katalis Ni(II)/H₅NZA menghasilkan 21 puncak kromatogram yang memiliki waktu retensi di daerah waktu retensi solar dan 61 puncak kromatogram yang memiliki waktu retensi di daerah waktu retensi bensin sebagaimana yang tersaji dalam tabel 4. Katalis Ni(II)/H₅NZA memiliki selektivitas yang tinggi dalam pembentukan produk yang memiliki waktu retensi di daerah waktu retensi bensin yaitu sebesar 53,65 %.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini maka dapat disimpulkan bahwa konversi plastik polipropilena menghasilkan 98 % senyawa-senyawa dengan waktu retensi <20 menit. Pada perengkahan katalitik plastik plipropilena dengan katalis Ni(II)/H₅NZA memiliki aktivitas sebesar 76,87 %. Katalis Ni(II)/H₅NZA mempunyai selektivitas yang tinggi terhadap senyawa fraksi bensin yaitu sebesar 53,65 %.

Daftar Pustaka

Chung, Park, Jeon, dan Kim. (Tanpa Tahun). *Pyrolysis of Waste Plastics Using Synthesized Catalysts from Fly Ash*. Taejon: Korea Institute of Energy Research.

- Handoko, D.S.P. 2001. *Modifikasi Zeolit Alam dan Karakterisasinya sebagai Katalis Perengkahan Asap Cair Kayu Bengkirai*. Tidak Dipublikasikan. Tesis. Yogyakarta: UGM.
- Junya, Masaaki, Hironobu, Tadashi, dan Nobuhiko. 2004. *Development of Feedstock Recycling Process for Converting Waste Plastics to Petrochemicals*. IHI Engineering Review. Vol. 37 No. 2. June 2004.
- Ofoma, I. 2006. *Catalytic Pyrolysis of Polyolefins*. Published. Thesis. Georgia: Georgia Institute of Technology.
- Satterfield, C.N. 1980. *Heterogeneous Catalysis in Practices*. New York: Mc. Graw-Hill Book Co.
- 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.