

PRODUKSI HIDROKARBON CAIR DARI PLASTIK MENGUNAKAN KATALIS ZEOLIT HY DAN ZSM-5

Didi Dwi Anggoro

**Lab. Rekayasa Proses, Jurusan Teknik Kimia FT UNDIP
Jl. Prof. Soedarto SH, Tembalang, Semarang 50232
Fax/Telp. 024-7460058; E-mail: anggoro@alumni.undip.ac.id**

Abstrak

Plastik merupakan jenis non-biodegradable sehingga sulit diurai oleh alam. Hal ini menyebabkan masalah dalam pengolahan limbahnya. Oleh sebab itu, diperlukan alternatif usaha baru untuk dapat mengubah limbah plastik menjadi sesuatu yang lebih bermanfaat, misalnya menjadi hidrokarbon cair. Pada penelitian ini akan diteliti kemungkinan bahan plastik, yaitu PE (Polyethylene) dan PP (Polypropylene) menjadi hidrokarbon cair dengan menggunakan katalis zeolit HY dan ZSM-5. Konversi PE dan PP menjadi hidrokarbon cair ini dijalankan dengan menggunakan reaktor unggun tetap yang terbuat dari Quartz tube pada suhu 500°C dan tekanan atmosfer. Variabel bebas yang ditentukan adalah jumlah katalis dan jumlah plastik. Analisa data menggunakan bantuan software Statistica. Dari hasil percobaan didapatkan bahwa PE dan PP dapat dikonversi menjadi hidrokarbon cair dengan bantuan katalis zeolit HY dan ZSM-5. Hidrokarbon cair yang dihasilkan terbanyak adalah 1,7 gram dari 15 gram PE dan 0,3 gram katalis zeolit HY dan ZSM-5. Sedangkan hasil percobaan menggunakan PP didapatkan hidrokarbon cair terbanyak adalah 6,7 gram dari 15 gram PP dan 0,3 gram katalis zeolit HY dan ZSM-5. Dari analisa Gas Chromatography diketahui bahwa hasil cairan mengandung komponen C₅-C₁₃. Hidrokarbon cair yang terbentuk dari plastik PP menunjukkan bahwa komposisi terbesar adalah C₈, sebanyak 9,92 %.

Kata kunci : polyethylene; polypropylene; zeolit HY; zeolit ZSM-5; hidrokarbon cair

1. Pendahuluan

Perkembangan di bidang teknologi bahan memunculkan ide untuk menciptakan bahan yang ringan, kuat, tahan dan murah, yaitu plastik. Plastik kemudian secara luas digunakan sebagai bahan untuk membuat benda-benda rumah tangga maupun industri. Sedangkan plastic adalah jenis *non-biodegradable* yang sulit diuraikan oleh alam. Hal ini menimbulkan masalah baru dalam pengolahan limbahnya. Untuk mengatasi hal tersebut maka diadakan program daur ulang sampah plastik. Namun hal tersebut dirasakan semakin tidak efektif. Mengingat jumlah sampah plastik semakin meningkat. Oleh sebab itu, diperlukan inovatif baru untuk dapat mengubah limbah plastik menjadi sesuatu yang lebih bermanfaat, misalnya menjadi hidrokarbon cair.

Hidrokarbon cair merupakan senyawa kimia yang banyak diperlukan oleh industri farmasi, kosmetik, dan berbagai industri kimia lainnya. Sehingga diperlukan terobosan teknologi proses untuk menghasilkan hidrokarbon cair dari bahan buangan plastik.

Proses produksi hidrokarbon cair dari limbah plastik dapat dikerjakan dengan proses perengkahan dari plastik menggunakan katalis zeolit Y dan ZSM-5.

Polyethylene atau polythene (PE) merupakan plastik jenis thermoplastik yang mempunyai sifat cepat mencair jika dipanaskan pada suhu tinggi dan cepat kembali padat pada saat mendingin. Plastik PE dibentuk dari polimerisasi ethena, maka molekul-molekul tersebut bergabung membentuk rantai yang panjang (polimer).

Polypropylene (PP) yang terbentuk dari polimerisasi propene merupakan salah satu jenis thermoplastik yang biasanya digunakan untuk pembungkus makanan ataupun perangkat rumah tangga. Proses perengkahan PE dan PP merupakan salah satu cara untuk meminimalisir limbah plastik tersebut menjadi hidrokarbon cair. Proses perengkahan (*cracking*) ada 2 macam, yaitu : proses perengkahan menggunakan suhu tinggi (*thermal cracking*) dan proses perengkahan menggunakan katalis pada suhu rendah (*catalytic cracking*).

Proses thermal cracking adalah untuk memecah senyawa menjadi molekul yang lebih kecil dengan cara pyrolysis atau thermolisis. Thermal cracking melibatkan radikal bebas (bukan ion) dan reaksi rantai radikal bebas (Chung, 2005). Perengkahan plastik pada suhu tinggi adalah proses paling sederhana untuk daur ulang plastik. Pada proses ini material polimer atau plastik dipanaskan pada suhu tinggi dengan dialirkan udara. Proses pemanasan ini menyebabkan struktur makro molekul dari plastik terurai menjadi molekul yang lebih kecil dan hidrokarbon rantai pendek terbentuk. Produk yang dihasilkan berupa fraksi gas, residu padat dan fraksi cair, yang mengandung parafin, olefin, naphthan, dan aromatis.

Proses ini memiliki 2 masalah, yaitu pertama dalam distribusi produk dan kedua dalam penggunaan suhu tinggi yang menggunakan suhu lebih dari 500°C bahkan sampai 900°C. Perengkahan menggunakan katalis merupakan metoda untuk menyelesaikan masalah ini.

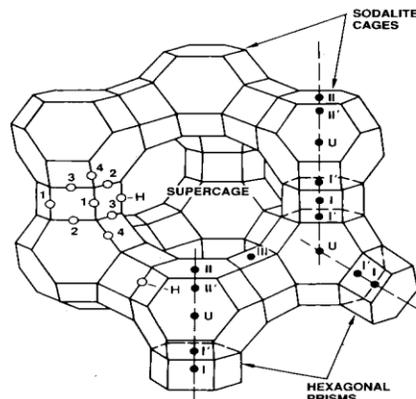
Perengkahan menggunakan katalis (*Catalytic cracking*) dijalankan pada suhu lebih rendah daripada *thermal cracking*. Beberapa peneliti sudah mencoba dengan katalis zeolit yang berbeda, diantaranya menggunakan ZSM-5 (Ukei dkk, 2000) tetapi yield yang dihasilkan masih kecil. Pada penelitian ini dicoba menggunakan katalis zeolit HY dan ZSM-5, dengan harapan menaikkan konversi dan yield.

Kondisi optimum ditentukan dengan *experiment design* menggunakan bantuan software Statistica 6.0. Jumlah total kombinasi eksperimen diperoleh dari persamaan $2^k + 2k + n_0$ dimana k adalah jumlah variable independent dan n_0 adalah jumlah pengulangan percobaan pada titik tengah (Nor Aishah Saidina Amin, Didi Dwi Anggoro, 2004). Dalam penelitian ini n_0 adalah 2. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari potensi plastik (PE dan PP) sebagai bahan baku produksi bahan bakar cair dengan menggunakan katalis zeolite HY dan ZSM-5.

2. Fundamental

Struktur zeolit Y terdiri dari muatan negatif, kerangka tiga dimensi tetrahedral SiO_4 dan AlO_4 yang bergabung membentuk oktahedra terpancung (*sodalite*). Jika 6 buah *sodalite* terhubung oleh prisma heksagonal akan membentuk tumpukan tetrahedral. Jenis tumpukan ini membentuk lubang besar (*supercages*) dan berdiameter $\sim 13\text{\AA}$. Lubang-lubang (*supercages*) dapat terbentuk dari 4 kristal tetrahedral yang tersebar, yang masing-

masing mempunyai 12 cincin oksigen dan berdiameter $7,4\text{\AA}$, seperti disajikan pada gambar 1. Lubang-lubang tersebut bila saling bersambung (12) maka akan membentuk sistem pori-pori yang besar dari zeolit. Setiap atom aluminium di koordinat tetrahedral dalam kerangka membawa muatan negatif. Muatan negatif dalam kerangka ini digantikan oleh kation yang berada diposisi kerangka non spesifik (Szostak, 1989).

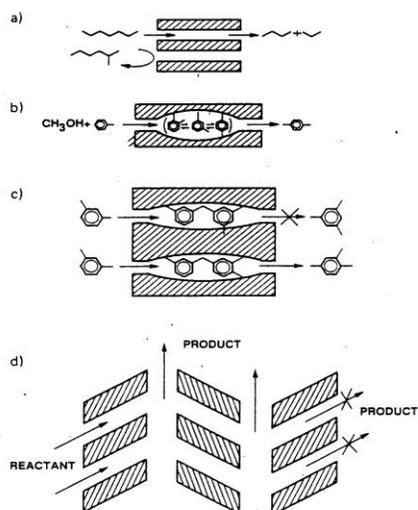


Gambar 1. Kerangka struktur zeolit HY

Dalam bentuk terdehidrasi muatan proton yang seimbang menempati posisi tertentu dalam zeolit dan membentuk 2 jenis gugus asam hidroksil yaitu α -*cage hydroxyls* yang bersifat sangat asam dan dapat diadsorpsi secara langsung dan β -*hydroxyls* yang tidak terlalu asam tetapi berinteraksi dengan α -*cage* yang teradsorpsi secara terbatas. Dalam bentuk terhidrasi ion dan molekul air di *supercage* sangat bebas bergerak yang memungkinkan pertukaran ion, sebaik dehidrasi reversibel dan penyerapan.

Zeolit ZSM-5 memuat sebuah system saluran zig zag silang-menyilang dari 10 cincin berangkai untuk menghasilkan system rongga tiga dimensi. Diameter pori berkisar antara 5,1 – 5,5 Å. ZSM-5 memiliki struktur yang unik. Struktur tersebut memungkinkan reaksi berjalan lebih sempurna, karena waktu tinggal pereaktan akan lebih lama. Selain itu, ZSM-5 juga memiliki selektivitas yang tinggi terhadap reaktan dan produk, seperti disajikan pada gambar 2 (Szostak, 1989).

Pada penelitian ini zeolit HY digunakan untuk memecah rantai carbon dari cairan hasil pirolisa plastic menjadi hidrokarbon gas (C_1 – C_4). Sedangkan zeolit ZSM-5 digunakan untuk mengoligomerisasi hidrokarbon gas menjadi hidrokarbon cair (C_5^+).



Gambar 2. Pore selektivitas zeolit ZSM-5

3. Metodologi

Dalam percobaan ini jumlah plastik PE atau PP dan jumlah katalis yang digunakan ditimbang sesuai variabel percobaan yang ditabulasikan dalam Tabel 1, dicampur katalis dengan perbandingan tertentu, kemudian dimasukkan reaktor. Dimana plastik diletakan diantara katalis HY dan ZSM-5, dengan katalis HY ditempatkan di bagian bawah reaktor, sedangkan ZSM-5 ditempatkan di bagian atas reaktor. Kemudian dilakukan proses pirolisis plastik PE atau PP dengan memanaskan reaktor menggunakan furnace sampai suhu 450°C.

Tabel 1. Experiment Design 2 Variabel

Run	Plastik (PE atau PP), gram	Katalis (HY dan ZSM-5), gram
1	5	0.3
2	15	0.3
3	5	0.9
4	15	0.9
5	10	0.6
6	10	0.175
7	10	1.02
8	2.9	0.6
9	17.07	0.6
10	10	0.6

Uap yang terbentuk dialirkan dari atas reaktor ke erlenmeyer dengan pendingin melalui selang tahan panas. Sedangkan wax yang keluar melalui bagian bawah reaktor ditampung dalam beaker glass. Percobaan dianggap berakhir jika

tidak ada lagi uap yang mengalir maupun wax yang menetes. Variabel yang divariasikan adalah berat katalis dan plastik. Peralatan perengkahan dan komposisi bahan dalam reaktor disajikan dalam makalah sebelumnya (Didi dkk, 2006a,b).

4. Hasil dan Pembahasan

Pada percobaan ini produk yang diinginkan adalah produk cairnya sebab produk cair ini dapat digunakan sebagai bahan bakar cair atau lainnya. Dalam hal ini katalis berperan untuk meningkatkan produk cair yang diinginkan dengan meningkatkan konversi plastik menjadi bahan bakar plastik. Dari percobaan diperoleh hasil yang ditabulasikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Produk Hidrokarbon Cair dan Padatan dari pirolisis PE dan PP

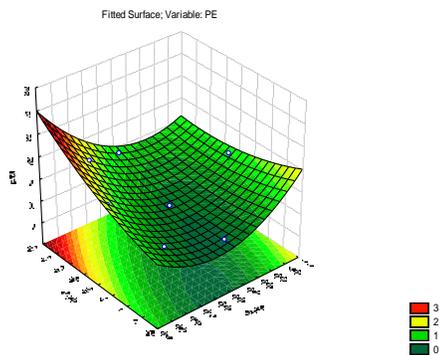
Run	PE		PP	
	Cair, g	Padat, g	Cair, g	Padat, g
1	0,3	2,5	0,1	1,5
2	1,7	6,2	6,7	2,6
3	0,1	2,1	1,0	2,5
4	0,15	4,1	3,4	3,0
5	0,2	4,7	0,4	1,1
6	0,9	2,8	0,2	5,5
7	0,6	3,3	3,1	3,5
8	0,2	1,2	0,1	2,2
9	0,8	5,3	1,6	5,6
10	0,2	2,65	1,4	2,1

Dari hasil percobaan, diperoleh bahwa dengan jumlah katalis yang tetap dan jumlah plastik PE maupun PP semakin besar dihasilkan cairan yang semakin banyak, contohnya pada run 1 dengan 2, run 3 dengan 4, dan run 8 dengan 9. Hal ini disebabkan jumlah plastik yang terdegradasi menjadi produk cair semakin besar.

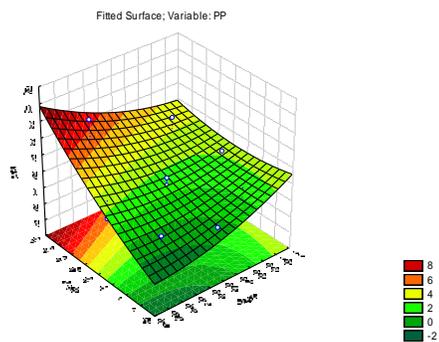
Sedangkan dengan berat plastik PE yang tetap dan berat katalis yang semakin besar, dihasilkan produk cair yang semakin kecil. Sebab pori-pori yang mengandung gugus asam pada katalis tidak semuanya digunakan untuk reaksi peruraian molekul plastik menjadi senyawa yang lebih sederhana (Marcilla, dkk, 2002). Sedangkan pada katalis PP yang terjadi adalah sebaliknya. Hal ini kemungkinan dikarenakan pada plastik PP dengan pemanasan banyak dihasilkan gas sehingga teroligomerisasi menjadi hidrokarbon cair. Apabila hasil pemanasan plastik lebih banyak cairan yang keluar, maka menyebabkan tersumbatnya pori-pori zeolit sehingga mengurangi produk hidrokarbon cair.

Katalis berperan untuk meningkatkan konversi cairan dan gas, serta memperkecil hasil yang berupa produk padat. Katalis dapat menurunkan suhu perengkahan (*cracking*) dan mengurangi waktu pirolisa agar plastik lebih mudah diuraikan (Suryadi dkk, 2004). Dengan pemanasan plastik PE dan PP mengalami degradasi menjadi cairan, gas dan padatan (wax dan serbuk). Cairan yang terbentuk akan mengalami perengkahan dengan katalis zeolit HY (yang letaknya dibawah plastic) menjadi hidrokarbon gas. Sedangkan hidrokarbon gas yang terbentuk akan menuju keatas reaktor dan mengalami proses oligomerisasi dengan katalis zeolit ZSM-5 (yang letaknya diatas plastic) membentuk hidrokarbon cair.

Gambar 3 merupakan visualisasi 3 dimensi dari hasil percobaan degradasi PE. Dimana Var2 merupakan berat katalis, Var3 adalah berat PE. Dari hasil percobaan, diperoleh bahwa dengan jumlah katalis yang tetap dan jumlah plastik semakin besar dihasilkan cairan yang semakin banyak. Hal ini disebabkan jumlah plastik yang terdegradasi menjadi produk cair semakin besar.



Gambar 3. Hasil percobaan degradasi PE



Gambar 4. Hasil percobaan degradasi PP

Pada gambar 4, sumbu x (Var2) menunjukkan berat katalis (dalam gram), sumbu y (Var3) menunjukkan berat PP (dalam gram), dan sumbu z (PP) menunjukkan berat cairan (dalam gram) hasil degradasi katalitik. Gambar 3 merupakan visualisasi 3 dimensi dari hasil percobaan degradasi katalitik PP. Diperoleh hasil degradasi katalitik berupa cairan terbanyak 6.7 gram terbentuk dari pirolisis PP sebanyak 15 gram dengan menggunakan katalis HY dan ZSM-5 masing-masing 0.3 gram.

Korelasi antara hasil percobaan dengan nilai teoritis menggunakan plastik PE yang diperoleh dari persamaan berikut:

$$Z = 1.1866057458001 - 5.4857700511664 (x) + 5.9545358983796 (x^2) + 0.09229520469153 (y) + 0.0064237889862822 (y^2) - 0.25 (xy) \dots\dots (1)$$

Dimana Z adalah yield, x adalah berat katalis dan y adalah berat plastik. Dari hasil perhitungan ANOVA persamaan 1 diperoleh koefisien korelasi (R) adalah 0.9119, hal ini menunjukkan bahwa yield hasil experimen mendekati teoritis sehingga persamaan empirisnya adalah benar. Persamaan 1 menunjukkan bahwa variabel yang paling berpengaruh adalah berat katalis (Li Quanhong, 2004).

Sedangkan dengan menggunakan plastik PP didapatkan korelasi antara hasil percobaan dengan nilai teoritis yang diperoleh dari persamaan berikut:

$$Z = -3.2024690839878 + 1.2279092974247*x + 4.5033290672906*x^2 + 0.5016591879488*y + 0.015295065340134*y^2 - 0.7*x*y \dots\dots(2)$$

Dimana Z adalah yield, x adalah berat katalis dan y adalah berat plastic. Dari hasil perhitungan ANOVA persamaan 2 diperoleh koefisien korelasi (R) adalah 0.7645, hal ini menunjukkan bahwa yield hasil experiment mendekati teoritis.

Pada bahan baku PE maka cairan terbanyak yang diperoleh dari degradasi katalitik yaitu 1.7gr yang berasal dari plastik PE sebanyak 15gr dan katalis HY maupun ZSM-5 sebanyak 0.3gr. Sedangkan pada bahan baku PP cairan terbanyak yang diperoleh adalah 6.7gr yang berasal dari plastik PP sebanyak 15gr dan katalis HY maupun ZSM-5 sebanyak 0.3gr.

Dari analisa Gas Chromatography diketahui bahwa hasil cairan mengandung komponen C₅-C₁₃. Hidrokarbon cair yang terbentuk dari plastik PP menunjukkan bahwa komposisi terbesar adalah C₈, sebanyak 9.92 %.

5. Kesimpulan

Dari hasil percobaan yang diperoleh, dapat disimpulkan :

- PE dan PP yang merupakan bahan limbah plastik dapat digunakan sebagai bahan untuk produksi hidrokarbon cair dengan bantuan katalis zeolit HY dan ZSM-5.
- Pada bahan baku PE maka cairan terbanyak yang diperoleh dari degradasi katalitik yaitu 1.7gr, berasal dari plastik PE sebanyak 15gr dan katalis HY maupun ZSM-5 sebanyak 0.3gr. Dari analisa GC diketahui bahwa hasil cairan mengandung komponen C₅-C₁₃.
- Pada bahan baku PP cairan terbanyak yang diperoleh dari degradasi katalitik yaitu 6.7gr, berasal dari plastik PP sebanyak 15gr dan katalis HY maupun ZSM-5 sebanyak 0.3gr. Analisa Gas Chromatography menunjukkan bahwa komponen yang terkandung dalam hasil cair adalah komponen C₄ – C₁₂. Dengan komposisi terbesar adalah C₈, sebanyak 9.92 %

- [6] Chung, S.H, (2005), "Pyrolysis of Waste Plastic Using Synthesized Catalyst from Fly Ash", *Journal Korea Institute of Energy Research*.
- [7] Suryadi Ismadji, dkk., (2004), "Pergunaan Katalis MCM₄₁ pada Proses Pirolisis Plastik", Prosiding Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo.
- [8] Szostak, R., (1989), "Molecular Sieves Principles of Synthesis and Identification", Van Nostrand Reinhold Catalysis Series, Elsevier.
- [9] Ukei, H, Hirose, T, Horikawa, S, Takai, Y, Taka, M, Azuma, N, Ueno, A, (2000), "Catalytic degradation of polystyrene into styrene and a design of recyclable polystyrene with dispersed catalysts", *Catalysis Today* 62, 67-75.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Projek TPSDP yang telah membiayai penelitian ini dan kepada Integrid K.H, Vivin A, S. Murtiningtyas, dan T. Tantri M. yang telah membantu penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Didi D.A, Integrid K.H, dan Vivin A, (2006a), "Konversi polyethylene menjadi hidrokarbon cair menggunakan katalis zeolit Hy dan ZSM-5", Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia, UPN, Jogjakarta.
- [2] Didi D.A, Sri M, dan Tirtala T.M, (2006b), "Degradasi katalitik polypropylene menjadi hidrokarbon cair menggunakan katalis ZSM-5 dan HY", Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia, UPN, Jogjakarta.
- [3] Li Quanhong, Fu Caili, (2004), "Application of Response Surface Methodology for Extraction Optimization of Germinant Pumpkins Seeds Protein", *Journal of Food Chemistry*.
- [4] Marcilla, A., Gomez, A., Garcia N.A., (2002), "Kinetic Study of Different Commercial Polyethylenes over an MCM-41 Catalyst", *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 64, hal. 85-101.
- [5] Nor Aishah Saidina Amin, Didi Dwi Anggoro, (2004), "Optimization of Direct Conversion of Methane to Liquid Fuels Over Cu Loaded W/ZSM-5 Catalyst", *Fuel*.