

## **PENGARUH SIFAT KEASAMAN KATALIS ZOLITE Y PADA PROSES KONVERSI LIMBAH PLASTIK MENJADI BAHAN BAKAR CAIR**

Didi Dwi Anggoro<sup>1,\*</sup>, Istadi<sup>1)</sup>, Kasmui<sup>2)</sup>

1) Laboratorium Rekayasa Proses dan Energi, Jurusan Teknik Kimia FT UNDIP  
Kampus Tembalang, Semarang. Telp. 024-7460058, Fax 024-76480675  
Email: anggoro@undip.ac.id

2) Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Semarang

### **Abstrak**

Konversi dan yield proses perengkahan akan meningkat kalau sifat kekuatan asam katalis dapat ditentukan dengan tepat. Kekuatan sifat asam suatu katalis ditentukan oleh ratio Silikat/Aluminat. Oleh karena dalam penelitian ini ditentukan pengaruh sifat keasaman dari kandungan ratio silikat/aluminat yang berbeda, pengaruh suhu kalisinasi, dan pengaruh suhu reaksi. Zeolit HY sintesis didealuminasi dengan menambahkan HCl dan pengadukan. Zeolit HY yang sudah didealuminasi kemudian dianalisa karakterisasinya dengan alat X-Ray Diffraction (XRD) dan Forrier Transform Infra Red (FTIR). Kemudian diadakan testing katalis menggunakan reaktor pipa steinless steel dengan variabel tertentu. Dari hasil difratogram XRD tersebut dihitung besar unit cell parameters dan kristalinitasnya. Dealuminasi mempengaruhi besaran unit cell parameter dan kristalinitas zeolit HY. Semakin lama waktu dealuminasi menunjukkan semakin mengecil unit cell parameter dan kritallinitasnya. Hal ini dikarenakan semakin banyaknya atom aluminium yang keluar dari kerangka zeolit. Hipotesa ini dibuktikan dengan analisa FTIR. Testing katalis dilakukan menggunakan reaktor pipa pada suhu 750°C, berat katalis 1 gram, dan berat limbah plastik 25 gram. Hasil testing katalis menunjukkan bahan bakar cair yang dihasilkan dari limbah plastik berbeda untuk setiap sample katalis.

Kata kunci : zeolit HY, dealuminasi, plastik, bahan bakar cair.

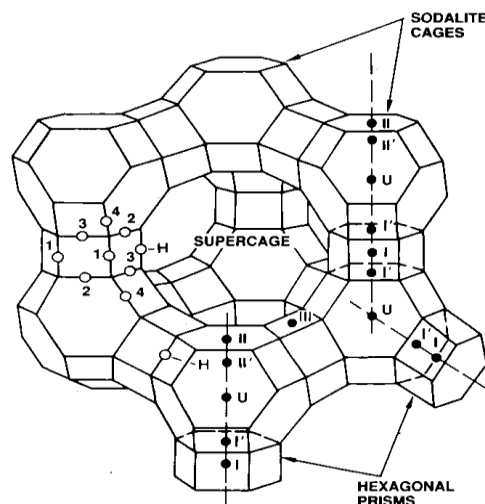
### **1. Pendahuluan**

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 pyrolisis atau thermolisis. Thermal cracking melibatkan radikal bebas (bukan ion) dan reaksi rantai radikal bebas. 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, napthan, dan aromatis.

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, naphan, 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 penyelesaian masalah ini.

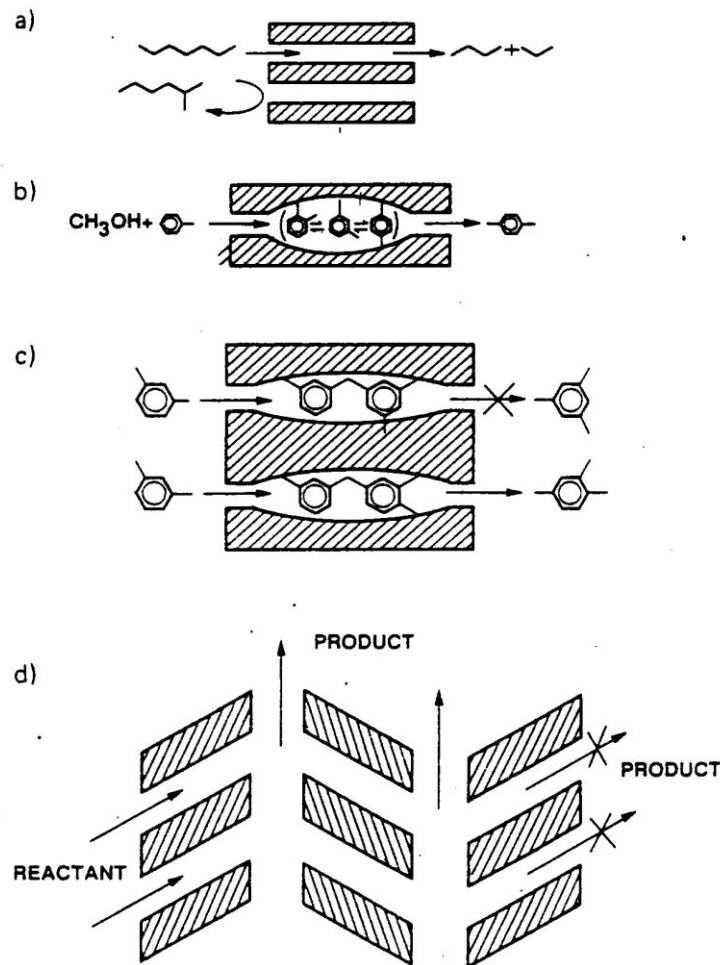
Perengkahan menggunakan katalis (Catalytic cracking) dijalankan pada suhu lebih rendah daripada thermal cracking. Beberapa peneliti sudah mencoba dengan katalis zeolit yang berbeda, diantaranya menggunakan ZSM-5 (Ukei dkk, 2000) dan MCM-41 (Marcilla, dkk, 2002 dan Suryadi, dkk, 2004) tetapi yield yang dihasilkan masih kecil. Pada penelitian sebelumnya telah berhasil didapatkan bahan bakar cair dari limbah plastik dengan menggunakan katalis zeolit HY dan ZSM-5 tetapi konversinya masih kecil (Didi D.A, 2005 dan 2006).

Struktur zeolit Y terdiri dari muatan negatif, kerangka tiga dimensi tetrahedral  $\text{SiO}_4$  dan  $\text{AlO}_4$  yang bergabung membentuk oktahedra terpancung (*sodalite*), seperti pada gambar 1. 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  $7,4\text{\AA}$ . 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**

Zeolit ZSM-5 memuat sebuah system saluran zig zag silang-menyilang dari 10 cincin berangkai untuk menghasilkan system rongga tiga dimensi, seperti pada gambar 2. 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.



**Gambar 2. Pore selektivitas zeolit ZSM-5**

Konversi dan yield proses perengkahan akan meningkat kalau sifat kekuatan asam katalis dapat ditentukan dengan tepat. Kekuatan sifat asam suatu katalis ditentukan oleh ratio Silikat/Aluminat (Nor A.S.A dan Didi D.A, 2002). Oleh karena dalam penelitian ini ditentukan pengaruh sifat keasaman dari kandungan ratio silikat/aluminat yang berbeda, pengaruh suhu kalisinasi, dan pengaruh suhu reaksi. Untuk mendapatkan zeolite dengan kandungan Si/Al berbeda maka dilakukan proses dealuminasi. Pada makalah ini akan dipelajari pengaruh proses dealuminasi terhadap sifat karakterisasi zeolite Y dengan menggunakan analisa *X-Ray Diffraction* dan pengaruhnya terhadap konversi limbah plastik menjadi bahan bakar cair.

## 2. Bahan dan Metode Penelitian

Zeolit HY sintesis didealuminasi dengan menambahkan HCl pada suhu tertentu dan diaduk selama waktu tertentu. Prosedur dealuminasi dijelaskan dipublikasi sebelumnya (Didi, 2008). Zeolit HY yang sudah didealuminasi kemudian dianalisa karakterisasinya dengan alat *X-Ray Diffraction* (XRD) dan dihitung persen kristallinitas dan besar unit cellnya. Adapun desain eksperimennya ditabulasikan pada Tabel 1. Besar unit cell dihitung dengan persamaan sbb:

$$\text{Unit cell} = n \cdot \lambda / 2 \cdot \sin \theta_{hkl} \quad (n = 1, 2, 3, 4, \dots)$$

Tabel 1. Desain eksperimen dealuminasi dengan variabel N HCl, suhu, dan waktu.

Run No	Nama Katalis	N HCl	Suhu (°C)	Waktu (jam)
1	DDA_01	1,0	60,0	12,0
2	DDA_02	3,0	60,0	12,0
3	DDA_03	1,0	60,0	36,0
4	DDA_04	3,0	60,0	36,0
5	DDA_05	1,0	80,0	12,0
6	DDA_06	3,0	80,0	12,0
7	DDA_07	1,0	80,0	36,0
8	DDA_08	3,0	80,0	36,0
9	DDA_09	2,0	53,2	24,0
10	DDA_10	2,0	86,8	24,0
11	DDA_11	2,0	70,0	3,8
12	DDA_12	2,0	70,0	44,2
13	DDA_13	0,3	70,0	24,0
14	DDA_14	3,7	70,0	24,0
15	DDA_15	2,0	70,0	24,0
16	DDA_16	2,0	70,0	24,0

Setelah dikarakterisasi dengan XRD dan Infra Red (IR) maka selanjutnya dilakukan testing katalis menggunakan reaktor pipa stainless steel seperti gambar 3. Testing katalis dijalankan pada suhu 750°C. Setiap eksperimen katalis yang dipakai sebanyak 1 gram dan limbah plastik sebanyak 25 gram.



Gambar 3. Reaktor pipa stainless steel.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Diffraktogram XRD disajikan pada gambar 4. Dari hasil diffratogram XRD tersebut dihitung besar unit cell parameters dan kristalinitasnya, seperti dalam table 2.

Tabel 2. Kristalinitas dan unit cell dari beberapa katalis

Katalis	Kristalinitas (%)	Unit cell (Å)
Zeolit HY	100,0	24,63
DDA_01	45,4	24,17
DDA_02	39,7	24,25
DDA_03	46,9	24,48
DDA_04	39,3	24,45
DDA_05	46,9	24,02
DDA_06	37,9	24,18
DDA_07	39,3	24,34
DDA_08	40,6	24,29
DDA_09	40,1	24,09
DDA_10	38,7	24,61
DDA_11	38,4	24,45
DDA_12	39,9	24,35
DDA_13	81,1	24,03
DDA_14	37,9	24,03
DDA_15	38,8	24,18
DDA_16	38,2	24,33

Dari table 2, dapat diketahui bahwa dealuminasi mempengaruhi besaran unit cell parameter dan kristalinitas zeolit HY. Hal ini dikarenakan semakin banyaknya atom aluminium yang keluar dari kerangka zeolit (Szostak, 1989). Tetapi dari gambar 4 dapat diketahui bahwa struktur zeolit HY berubah pada proses dealuminasi menggunakan larutan HCl dengan Normalitas diatas 1 (satu). Dengan adanya aluminium yang keluar

dari rangka (*framework*) zeolit maka menyebabkan kekuatan asam akan menurun (Szostak, 1989). Dengan demikian dapat ditarik kesimpulan bahwa dealuminasi pada zeolit HY ini dapat mengurangi kandungan aluminium dan kekuatan asam tetapi juga dapat merubah srtuktur zeolit dengan kondisi tertentu.

Analisa Infra Red ditabulasikan dalam tabel 3. Beberapa band yang perlu diperhatikan adalah  $400\text{ cm}^{-1}$ ,  $800\text{ cm}^{-1}$ ,  $1.000\text{ cm}^{-1}$  dan  $1.100\text{ cm}^{-1}$ . Pada tabel 3 terlihat bahwa pada zeolit HY yang didealuminasi band  $400\text{ cm}^{-1}$ ,  $800\text{ cm}^{-1}$ , dan  $1.000\text{ cm}^{-1}$  bergeser dibandingkan dengan zeolit HY yang tidak didealuminasikan, kecuali pada sampel DDA\_13. Bergesernya band tersebut disebabkan ratio Si/Al berubah (Szostak, 1989). Hal ini sesuai dengan hasil analisa XRD yang menyatakan terjadinya perubahan ratio Si/Al.

Sampel DDA\_13 mempunyai band yang sama dengan zeolit HY. Hal ini menandakan bahwa ratio Si/Al sampel DDA\_13 tidak berubah. Berubahnya ratio Si/Al akan menyebabkan berubahnya kekuatan asam.

Tabel 3. Perubahan beberapa band ( $\text{cm}^{-1}$ ) IR dari beberapa katalis

Katalis	$400\text{ cm}^{-1}$	$800\text{ cm}^{-1}$	$1000\text{ cm}^{-1}$	$1100\text{ cm}^{-1}$
Zeolit HY	456,18	815,92	1052,20	1168,90
DDA_01	468,72	807,24	1094,64	-
DDA_02	467,75	799,52	1097,53	-
DDA_03	465,82	802,41	1086,92	-
DDA_04	469,68	803,38	1095,60	-
DDA_05	468,72	809,17	1091,75	-
DDA_06	468,72	802,41	1096,57	-
DDA_07	469,68	809,17	1094,64	-
DDA_08	472,58	804,34	1097,53	-
DDA_09	463,90	804,34	1093,67	-
DDA_10	468,72	803,38	1097,53	-
DDA_11	472,58	803,38	1095,60	-
DDA_12	468,72	806,27	1096,57	-
DDA_13	458,11	819,77	1058,96	1176,62
DDA_14	470,65	802,41	1096,57	-
DDA_15	467,75	801,45	1096,57	-
DDA_16	468,72	802,41	1096,57	-

Testing katalis dilakukan terhadap 16 sampel tersebut ditambah dengan menggunakan katalis zeolit HY dan tanpa katalis untuk perbandingan. Hasil testing ditabulasikan pada tabel 4. Dari tabel 4 menunjukkan hasil yang berbeda untuk setiap sampel. Pada makalah ini belum dapat dijelaskan komposisi dari bahan bakar cair yang dihasilkan, dikarenakan belum selesai hasil analisa GC. Walaupun begitu hasil di tabel 4 sudah dapat menunjukkan bahwa ratio Si/Al yang berbeda menghasilkan bahan bakar cair yang berbeda juga.

Tabel 4. Produk bahan bakar cair yang dihasilkan dari beberapa katalis

<b>Katalis</b>	<b>Volume (ml)</b>	<b>Warna</b>
Tanpa katalis	13,5	Hitam
Zeolit HY	5,2	Coklat tua
DDA_01	6,0	Coklat tua
DDA_02	5,0	Kuning tua
DDA_03	6,0	Kuning tua
DDA_04	11,0	Kuning tua
DDA_05	14,0	Kuning tua
DDA_06	4,0	Kuning tua
DDA_07	10,0	Kuning tua
DDA_08	3,5	Coklat tua
DDA_09	3,0	Hitam
DDA_10	8,4	Coklat tua
DDA_11	2,4	Coklat
DDA_12	9,0	Coklat tua
DDA_13	3,8	Kuning tua
DDA_14	13,0	Kuning tua
DDA_15	8,0	Kuning
DDA_16	9,0	Kuning

#### 4. Kesimpulan

- Variabel yang paling berpengaruh pada proses dealuminasi adalah normalitas larutan HCl.
- Dealuminasi zeolit HY menyebabkan ratio Si/Al yang berubah.
- Ratio Si/Al yang berubah menyebabkan sifat asam yang berbeda.
- Ratio Si/Al mempengaruhi produk bahan bakar cair dari plastik.

#### 5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian RISTEK yang telah membiayai penelitian ini melalui Penelitian Riset Dasar, Program Insentif 2008.

## 6. Daftar Pustaka

- Didi Dwi Anggoro, Istadi, Hery Haerudin, Kasmui. (2008). "Pengaruh Proses Dealuminasi terhadap Karakterisasi Sifat Katalis Zeolite Y". *Proseding Seminar Rekayasa Kimia dan Proses, Teknik Kimia, UNDIP, Semarang*.
- Didi Dwi Anggoro. (2005), "Optimization of Catalytic Degradation of Plastic to Aromatics over HY Zeolite". *Proceeding on International Conference of The Indonesian Society on Environmental Chemistry and Toxicology (InSECT)*.
- Didi Dwi Anggoro. (2006). "Produksi Hidrokarbon Cair Dari Plastik Menggunakan katalis HY dan ZSM-5". *Proseding Seminar Nasional Teknik Kimia, UNSRI, Palembang*,
- 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.
- Nor Aishah Saidina Amin and Didi Dwi Anggoro, (2002). "Dealuminated ZSM-5 Zeolite Catalyst for Ethylene Oligomerization to Liquid Fuels". *Journal of Natural Gas Chemistry*, Vol. 11, p.79-86.
- Suryadi Ismadji, dkk. (2004). "Penggunaan Katalis MCM\_41 pada Proses Pirolisis Plastik", *Jurnal Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo, ITB, Bandung*.
- Szostak, R., (1989) "*Molecular Sieves Principles of Synthesis and Identification*", Van Nostrand Reinhold Catalysis Series, Elsevier Ltd.
- 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.