

Optimasi Pembuatan Katalis Zeolit X dari Tawas, NaOH dan Water Glass Dengan Response Surface Methodology

Eli Maria Ulfah, Fani Alifia Yasnur, dan Istadi *

*Chemical Reaction Engineering & Catalysis (CREC), Jurusan Teknik Kimia,
Universitas Diponegoro, Jln. Prof. H. Sudharto, Tembalang, Semarang*

Received 20 December 2006; Received in revised form 26 December 2006; Accepted 29 December 2006

Abstract

Zeolite is one of the most useful natural resources in Indonesian chemical industries. Natural zeolite has been explored greatly so that the quantity getting lesser and lesser. The synthetic one has been greatly used in industries but in Indonesia, it is rarely produced, generally it is imported. There are many advantages of zeolite X, i.e. as a catalyst, adsorbent, gas separation, ion exchanger, petrochemical, and detergent. Due to these advantages, it is necessary to run this experiment. The objectives of this experiments is determining optimal operating conditions of synthesizing zeolite X from alum and waterglass with two independent variables, they are operating temperature, and NaOH 50%/waterglass ratio. The method used in determining the optimal condition of each variables is Response Surface Methodology (RSM). X-Ray Diffraction (XRD) was employed in product characterization. Product is also tested as an Fe adsorbent. From this experiment obtained empirical model fitted to the experiment results, while the optimal conditions which deliver maximum Fe adsorption percentage is at operating temperature and NaOH 50%/waterglass ratio 92.3°C and 1.85, respectively. © 2006 CREG. All rights reserved.

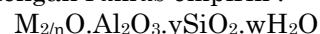
Keywords: Zeolit X, sintesis zeolit, Response Surface Methodology

1. Pendahuluan

Zeolit merupakan salah satu bahan kekayaan alam yang sangat bermanfaat bagi industri kimia di Indonesia. Zeolit ada dua macam yaitu zeolit alam dan sintetis. Zeolit alam sudah banyak dimanfaatkan sehingga jumlahnya semakin berkurang. Umumnya zeolit alam digunakan untuk pupuk, penjernihan air, dan diaktifkan untuk dimanfaatkan sebagai katalis dan adsorbent. Zeolit sintetis sudah banyak digunakan di industri namun di Indonesia belum banyak diproduksi dan umumnya diperoleh dari impor. Untuk memenuhi kebutuhan zeolit ini maka para ahli melakukan penelitian sehingga didapatkan berbagai macam zeolit sintetis. Indonesia banyak membutuhkan zeolit sintetis untuk proses – proses kimia di industri kimia seperti sebagai katalis, ion exchanger,

dan adsorbent dalam pengolahan limbah. Untuk itu dibutuhkan zeolit sintetis yang mempunyai kemurnian tinggi dan kualitas baik. Bahan baku pembuatan zeolit adalah bahan yang mengandung silika dan aluminium. Kedua bahan baku ini jika diambil dari alam dan bahan logam tentunya mahal, namun dalam bentuk senyawa banyak diperoleh dan murah harganya. Silika dapat diperoleh dari bahan gelas / water glass, dan aluminium dapat diperoleh dari tawas [1], dan masih banyak bahan yang dapat digunakan untuk pembuatan zeolit sintetis.

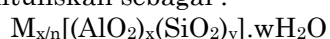
Zeolit adalah kristal alumino silikat dari elemen grup IA dan grup IIA seperti natrium, kalium, magnesium, dan kalsium [6]. Secara kimia zeolit dapat ditulis dengan rumus empirik :



* Corresponding Author. Telp. (024)7460058, Fax. (024)76480675
E-mail address: istadi@tekim.ft.undip.ac.id (Istadi)

dimana y adalah 2 atau lebih besar, n adalah valensi kation, dan w melambangkan air yang terkandung didalamnya. Struktur zeolit adalah kompleks yaitu merupakan polimer kristal anorganik didasarkan kerangka tetrahedral yang diperluas tak terhingga dari AlO_4 dan SiO_4 dan dihubungkan satu dengan lainnya melalui pembagian bersama ion oksigen.

Struktur kerangka ini mengandung saluran yang diisi oleh kation dan molekul air. Kation aktif bergerak dan umumnya bertindak sebagai ion exchange. Air dapat dihilangkan secara reversibel yang secara umum dengan pemberian panas. Jika zeolit didasarkan pada satu unit sel kristal dapat dituliskan sebagai :



dimana : n : valensi dari kation M
 w : jumlah molekul air per unit sel
 x dan y : jumlah total tetrahedral per unit sel

Biasanya y/x bernilai 1 - 5, tetapi zeolit dengan silika tinggi harga y/x dibuat hingga 10 - 100 atau bahkan lebih tinggi [2].

Banyak kristal zeolit baru telah disintesis dan memenuhi beberapa fungsi penting dalam industri kimia dan minyak bumi dan juga dipakai sebagai produk seperti deterjen [2]. Telah diketahui lebih dari 150 tipe zeolit sintetis dan 40 mineral zeolit. Beberapa jenis zeolit berdasarkan rasio Si / Al antara lain, zeolit silika rendah dengan perbandingan Si/Al 1 - 1,5, memiliki konsentrasi kation paling tinggi, dan mempunyai sifat adsorpsi yang optimum, contoh zeolit silika rendah adalah zeolit A dan X; zeolit silika sedang, yang mempunyai perbandingan Si/Al adalah 2-5, contoh zeolit jenis ini adalah Mordenit, Erionit, Klinoptilolit, zeolit Y; zeolit silika tinggi, dengan perbandingan kadar Si/Al antara 10 - 100, bahkan lebih, contohnya adalah ZSM-5 [2].

Proses pembuatan zeolit secara komersial terbagi menjadi tiga kelompok yaitu pembuatan zeolit dari gel reaktif aluminosilika atau hidrogel, konversi dari mineral tanah liat menjadi zeolit, dan proses berdasarkan pada penggunaan material mentah zeolit yang sudah ada di alam. Hidrogel dan konversi dari mineral tanah liat membentuk bubuk atau pellet zeolit dengan kemurnian tinggi. Produk zeolit bubuk biasanya terikat dengan oksida organik atau mineral membentuk partikel yang menyatu untuk mempermudah dalam menangani dan menggunakannya.

Kristal zeolit kemurnian tinggi yang digunakan dalam proses adsorpsi harus dibentuk menjadi gumpalan yang mempunyai kekuatan fisik tinggi dan ketahanan terhadap keausan. Bubuk kristal dibentuk menjadi gumpalan dengan tambahan pengikat anorganik umumnya adalah

tanah liat, dalam campuran basah. Campuran tanah liat zeolit kemudian dipotong menjadi pellet tipe silinder atau dibentuk menjadi manik-manik, setelah itu dikalsinasi membentuk komposit yang kuat.

Proses komersial pertama dalam pembuatan zeolit sintesis dalam skala besar yang berdasarkan sintesis dalam laboratorium adalah dengan menggunakan hidrogel tak berbentuk (amorphous hydrogels). Material yang digunakan adalah natrium silikat, natrium aluminat, dan natrium hidroksida. Hidrogel process didasarkan baik sebagai sel gel homogen yang hidrogelnya disiapkan dari alumina reaktif atau silika dalam bentuk padat sebagai contoh bubuk silika padat. Bahan baku diukur dalam tangki pencampuran dalam rasio yang tepat. Kristalisasi dilakukan dalam kristalizer terpisah. Langkah aging pada suhu kamar sebelum kristalisasi mungkin diperlukan untuk sintesa beberapa zeolit kemurnian tinggi. Umumnya suhu kristalisasi adalah dekat titik didih air, dalam kasus tertentu seperti sintesa zeolit tipe mordenit suhu yang lebih tinggi diperlukan. Setelah periode penghancuran, slurry kristal dalam larutan disaring pada rotary filter.

Jika dilihat dari manfaatnya, zeolit X dapat digunakan sebagai katalis [2,3], adsorbent, separasi gas, ion-exchanger, petrochemical, dan dapat pula digunakan sebagai deterjen [4]. Oleh karena berbagai manfaat tersebut, maka penelitian mengenai pembuatan zeolit X ini perlu dilakukan. Pada penelitian sebelumnya pembuatan zeolit X dilakukan dengan proses hidrogel, dengan bahan baku larutan natrium aluminat, yang dicampur dengan larutan KOH dan NaOH, kemudian ke dalam campuran tersebut ditambahkan larutan natrium silikat [5]. Pada penelitian ini, kami mengganti larutan natrium aluminat, KOH, dan NaOH, dengan bahan lain yang memiliki kandungan unsur-unsur yang sama yaitu tawas. Dan waterglass digunakan sebagai alternatif pengganti larutan natrium silikat. Penggunaan bahan baku water glass ini didasari oleh alasan bahwa kandungan silikat dalam water glass besar dan harganya relatif murah.

Kondisi operasi optimum dalam pembuatan zeolit X dapat ditentukan dengan metode Response Surface Methodology (RSM). Dengan metode ini dapat diketahui bagaimana kombinasi kondisi proses yang cukup baik untuk mendapatkan zeolit X dengan perolehan hasil atau yield yang baik. Di samping itu, dalam metode RSM ini juga ditinjau pengaruh interaksi antar variabel. Tujuan penelitian ini adalah mencari kondisi operasi optimum dari pembuatan zeolit X dari bahan tawas dan waterglass.

2. Bahan dan Metode Penelitian

2.1. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tawas (UD. Indrasari), waterglass (UD. Indrasari), NaOH (MERCK), dan aquadest (UD. Indrasari).

2.2. Rancangan Percobaan

Beberapa variabel yang ditetapkan dalam penelitian ini diantaranya, waktu operasi pembuatan zeolit X selama 5 jam sesuai skema pada Gambar 1, berat $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ sebesar 25 gr, berat zeolit untuk analisa daya jerap terhadap logam Fe 0,1 gr, volume larutan FeSO_4 untuk analisa sebanyak 30 ml serta volume H_2O . Produk zeolit X ini diuji daya jerapnya terhadap logam Fe untuk mengetahui manfaat zeolit X sebagai penjerap logam berat. Logam berat yang dipilih dalam penelitian ini adalah logam Fe, yang terkandung dalam larutan FeSO_4 .

Pada penelitian ini digunakan central composite rotatable design (CCRD) dua faktor, yang termasuk dalam metode RSM untuk menentukan batasan dan level masing-masing variabel, serta rancangan percobaan. Variabel berubah yang dipilih dalam penelitian ini adalah suhu operasi dan rasio berat NaOH 50%/waterglass. Suhu operasi dipilih sebagai variabel berubah untuk mengetahui bagaimana pengaruh suhu operasi pembuatan zeolit X pada penjerapan produk zeolit X terhadap logam Fe dalam larutan FeSO_4 . Sedangkan pemilihan variabel rasio berat NaOH 50%/waterglass dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh NaOH sebagai sumber gugus aktif Na^+ yang berfungsi sebagai kation-exchange dalam penjerapan logam Fe. Batasan dan level yang digunakan untuk tiap variabel diberikan dalam Tabel 1. Harga α untuk desain rotatable adalah :

$$\alpha = (F)^{1/4} \quad (1)$$

dimana $F=2^k$, k merupakan jumlah faktor (variabel). Karena dalam percobaan ini terdapat dua variabel, maka nilai F sama dengan $2^2 (=4)$ titik. Sehingga sesuai Persamaan (1), diperoleh

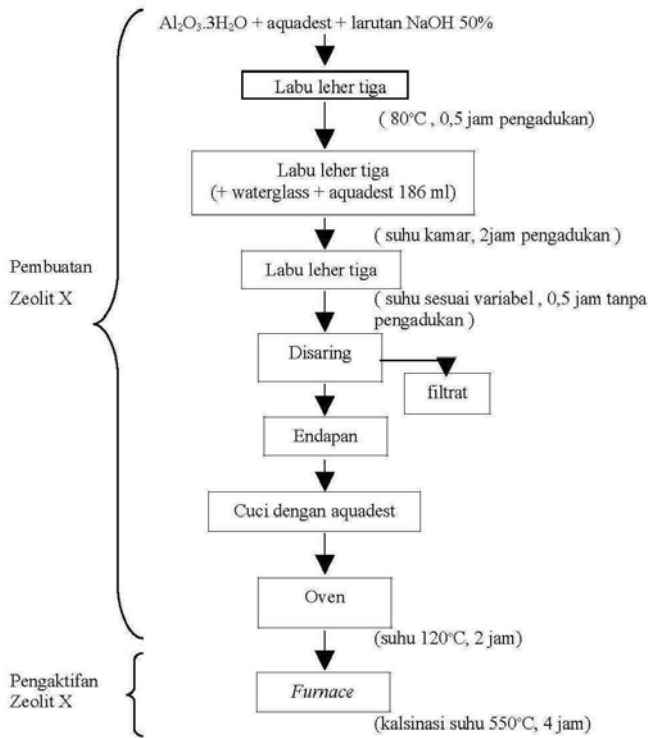
$$\alpha = \sqrt{2}$$

Penelitian dilakukan dalam empat tahap yaitu penyiapan bahan baku, pembuatan zeolit X, pengaktifan produk zeolit X, dan pengujian produk zeolit X sebagai penjerap logam berat Fe. Bahan-bahan yang harus dipersiapkan terlebih dahulu adalah $\text{Al}(\text{OH})_3$ dan silika, sebagai bahan baku utama zeolit. $\text{Al}(\text{OH})_3$ diperoleh dengan melarutkan tawas ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$) dalam larutan NaOH. Sedangkan silika diperoleh dengan mengkalsinasi waterglass (Na_2SiO_3). Pembuatan zeolit X diawali dengan mencampur $\text{Al}(\text{OH})_3$ dengan larutan NaOH 50% dan aquades dalam labu leher tiga. Campuran tersebut dipanaskan sampai suhu 80°C dengan pengadukan selama 30 menit. Lalu ke dalam campuran tersebut ditambahkan silika dan aquades, campuran ini diaduk selama 2 jam tanpa pemanasan. Setelah itu pengadukan dihentikan, dilanjutkan dengan pemanasan campuran selama 30 menit. Kemudian campuran tersebut disaring dan diambil endapannya. Endapan dicuci dengan aquades lalu dikeringkan dalam oven (MEMMERT) pada suhu 120°C selama 2 jam. Setelah itu dilanjutkan dengan tahap pengaktifan produk zeolit X dengan proses kalsinasi dalam furnace (Naber Industriefenbau Lilienthal/Bremen 2804) pada suhu 550°C selama 4 jam. Produk zeolit X yang diperoleh diuji daya jerapnya terhadap logam Fe yang terdapat dalam larutan FeSO_4 . Kadar Fe yang masih terdapat dalam larutan FeSO_4 dianalisa dengan Atomic Absorption Spectrometry (AAS – Perkin Elmer 3110). Secara ringkas prosedur percobaan ini dapat dilihat dalam skema pada Gambar 1.

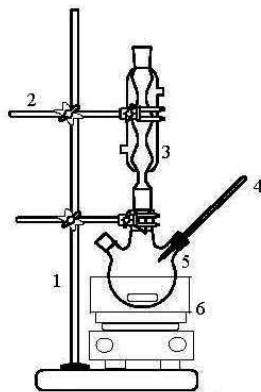
Rangkaian alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2. Rangkaian alat tersebut terdiri dari labu leher tiga (nomor 5) yang dilengkapi dengan termometer (nomor 4) dan pendingin balik (nomor 3), sebagai tempat terjadinya reaksi. Di bawah labu leher tiga diletakkan seperangkat magnetic stirrer (nomor 6). Alat-alat tersebut disangga dengan statif (nomor 1) dan klem (nomor 2).

Tabel 1. Batasan dan Level Variabel Berubah

Variabel (X)	Batasan dan level				
	$-\alpha(-\sqrt{2})$	-1	0	+1	$+\alpha(+\sqrt{2})$
Rasio berat NaOH 50% /waterglass (X_1)	0,6	1	2	3	3,4
Suhu operasi (X_2), $^\circ\text{C}$	76	80	90	100	104



Gambar 1. Skema Pembuatan Zeolit X



Gambar 2. Rangkaian alat pembuatan zeolit X

2.3. Analisis Hasil Penelitian

Data hasil percobaan dan variabel bebas diplotkan dalam sebuah model matematis dan selanjutnya dioptimasi menggunakan software STATISTICA 6 dengan metode Response Surface Methodology (RSM). RSM merupakan metode yang meliputi (a) perancangan percobaan, (b) pengembangan model matematis, (c) penentuan harga optimum untuk variabel berubah sehingga diperoleh hasil maksimum atau minimum. Dengan RSM, diperoleh persamaan polinomial kuadrat yang dapat digunakan untuk memperkirakan hasil yang merupakan fungsi variabel berubah serta interaksinya. Secara umum hasil yang diperoleh dapat diperkirakan menurut persamaan (2).

$$Z = \beta_o + \sum_{j=1}^2 \beta_j X_j + \sum_{j=1}^2 \beta_{jj} X_j^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j \tag{2}$$

dimana Z adalah hasil yang diperkirakan, β_o adalah intersep, β_j adalah koefisien persamaan linier, β_{jj} adalah koefisien persamaan kuadrat, β_{ij} adalah koefisien interaksi, sedangkan X_i dan X_j adalah variabel berubah.

Keakuratan model matematis terhadap data hasil percobaan diperiksa dengan *analysis of variance* (ANOVA) menggunakan Fisher F-test. Ketepatan parameter persamaan untuk masing-masing suku dilihat dari nilai-p dan nilai-t. Respons permukaan tiga dimensi dan grafik kontur digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel percobaan terhadap hasil yang diperoleh. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini adalah persentase penjerapan zeolit X terhadap logam Fe dalam larutan FeSO₄, yang dapat dihitung menurut Persamaan (3).

Persentase penjerapan logam Fe

$$= \frac{C_{Fe,o} - C_{Fe,f}}{C_{Fe,o}} \times 100\% \tag{3}$$

keterangan : C_{Fe,o} = konsentrasi Fe sebelum penjerapan zeolit X, dan C_{Fe,f} = konsentrasi Fe sesudah penjerapan zeolit X.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Percobaan ini dimaksudkan untuk mengetahui nilai optimum variabel suhu dan rasio berat NaOH 50%/waterglass dalam pembuatan zeolit X, agar diperoleh produk zeolit X dengan daya jerap maksimum terhadap logam Fe. Percobaan dilakukan berdasarkan matriks rancangan seperti ditunjukkan pada Tabel 2 .

Model empiris yang diperoleh untuk persentase penjerapan logam Fe (Z) sesuai persamaan (4).

$$Z = -2382,156839223 + 193,99020049349(X_1) - 24,296875000001(X_1)^2 + 49,556481258179(X_2) - 0,25704375000001(X_2)^2 - 1,127(X_1)(X_2) \tag{4}$$

Keakuratan model ini dapat diketahui dari harga koefisien determinasi, R², yang mencapai 0,9142. Dari harga R² ini dapat disimpulkan bahwa nilai yang diperkirakan dengan model mendekati nilai

Tabel 2. Matriks Rancangan Percobaan dan Hasil Percobaan

Run ke-	Variabel Bebas		Hasil Percobaan (Variabel Tak Bebas)
	Rasio NaOH 50%/waterglass (X_1)	Suhu (X_2), °C	Persentase Penjerapan Logam Fe
1	1	100	53,52
2	2	90	94,37
3	2	90	73,24
4	0,6	90	47,89
5	3	80	39,44
6	3,4	90	19,72
7	2	76	12,68
8	2	104	49,3
9	3	100	32,39
10	1	80	15,49

Tabel 3. Hasil ANOVA terhadap Model

Faktor	SS	df	MS	F
SS regresi	7.254,775	5	1.450,955	11,147
Error	520,650	4	130,163	
Total SS	6.064,449	9		
R^2	0,91415			

Catatan : SS = *Sum of Square*

Tabel 4. Efek Koefisien Regresi terhadap Model

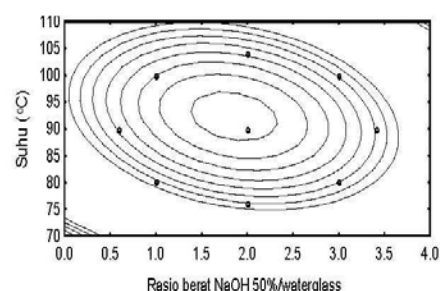
Suku	Koefisien	Nilai t	Nilai p
-	-2382,16	-5,30504	0,006066
X_1	193,99	3,47989	0,025355
$(X_1)^2$	-24,3	-4,55337	0,010391
X_2	49,56	5,11907	0,006891
$(X_2)^2$	-0,26	-4,81715	0,008541
(X_1X_2)	-1,13	-1,97565	0,119394

yang diperoleh dari hasil percobaan. Ini menandakan bahwa 91,42% dari total variasi pada hasil yang diperoleh terwakili dalam model. Harga koefisien korelasi model ($R=0,956$) memberikan korelasi yang memuaskan antara nilai yang diperkirakan dengan model dan nilai yang diperoleh dari hasil percobaan. Keakuratan model ini juga dapat diketahui dari hasil ANOVA seperti ditunjukkan pada Tabel 3. Dari Tabel 3 diketahui bahwa nilai F hasil perhitungan sebesar 11,147 lebih dari nilai F dalam tabel distribusi. Nilai F ini secara statistik menunjukkan regresi yang signifikan pada level 5%.

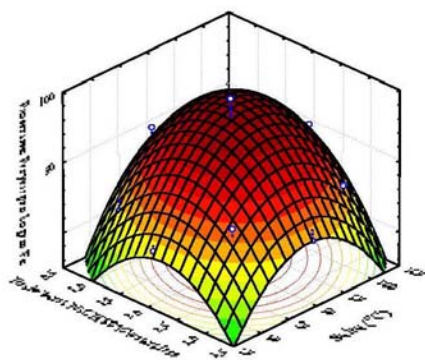
Signifikansi koefisien regresi terhadap model disajikan dalam Tabel 4. Pada tabel tersebut, suku yang terdiri dari satu faktor menunjukkan efek linier, sedangkan suku yang terdiri dari dua faktor menunjukkan efek interaksi antara kedua faktor (variabel). Suku yang berpangkat dua menunjukkan efek kuadratik terhadap hasil. Nilai p dan t digunakan untuk mengetahui signifikan atau tidaknya masing-masing suku. Semakin kecil nilai p, semakin signifikan harga koefisiennya, dan semakin berperan terhadap hasil yang diperoleh. Dari Tabel 4, suku linier dari suhu operasi (X_2) memberikan efek terbesar pada penjerapan zeolit X terhadap logam Fe, dengan tingkat kepercayaan 99 % yang ditandai dengan nilai p yang terkecil ($<0,01$) dan nilai absolut t terbesar (5,305). Suku suhu operasi kuadratik (X_2^2) menunjukkan efek yang lebih kecil, yang

diketahui dari nilai p yang lebih besar dan nilai absolut t yang lebih kecil dari suku suhu operasi linier, dengan tingkat kepercayaan 99%. Berikutnya yaitu suku rasio berat NaOH 50%/waterglass kuadratik (X_1^2) diikuti suku rasio berat NaOH 50%/waterglass linier (X_1) dengan tingkat kepercayaan 95% dimana nilai $p < 0,05$, dan suku interaksinya dengan suhu operasi dengan nilai $p < 0,15$ dan tingkat kepercayaan 85%. Secara umum pengaruh variabel berubah terhadap persentase logam Fe yang terjerap oleh zeolit X dari tinggi ke rendah berdasarkan nilai t dan p adalah suhu operasi kemudian rasio berat NaOH 50%/waterglass.

Pengaruh suhu operasi dan rasio NaOH 50%/waterglass terhadap persentase penjerapan logam Fe oleh zeolit X ditampilkan dalam Gambar 3 dan 4. Pada Gambar 3 terlihat grafik kontur yang membentuk elips dan menunjukkan kecenderungan efek interaksi antar variabel.



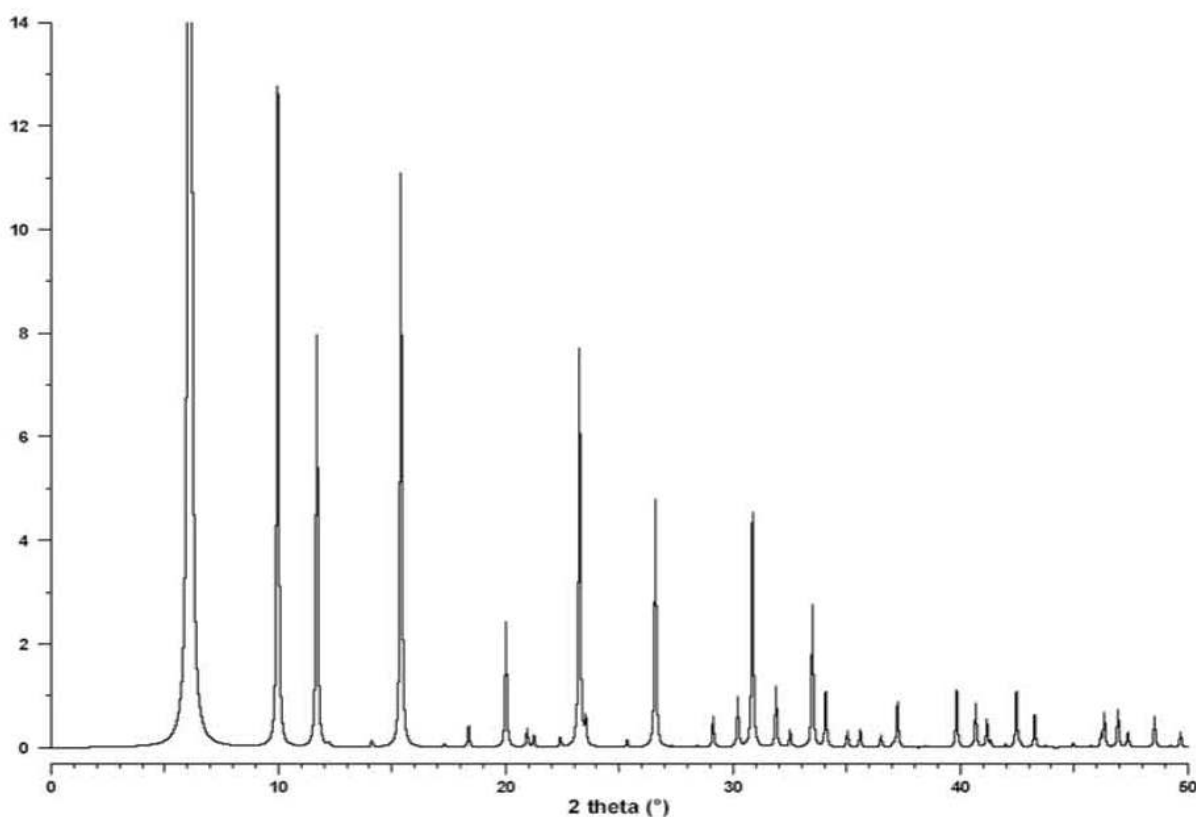
Gambar 3. Contour Plot Persentase penjerapan zeolit X terhadap logam Fe sebagai fungsi suhu dan rasio berat NaOH 50%/waterglass.



Gambar 4. Surface Plot Persentase penjerapan zeolit X terhadap logam Fe sebagai fungsi suhu dan rasio berat NaOH 50%/waterglass.

waterglass dinaikkan persentase penjerapan Fe juga meningkat, namun ketika rasio beratnya dinaikkan sampai lebih dari 1,8 persentase penjerapan logam Fe menurun. Dari perhitungan berdasarkan model pada Persamaan 4, diperoleh hasil persentase penjerapan logam Fe sebesar 85,36%, yang merupakan persentase maksimum yang dapat dicapai dengan variabel proses yang optimum yaitu nilai rasio NaOH 50%/waterglass (X_1) 1,85 dan suhu (X_2), 92,3°C.

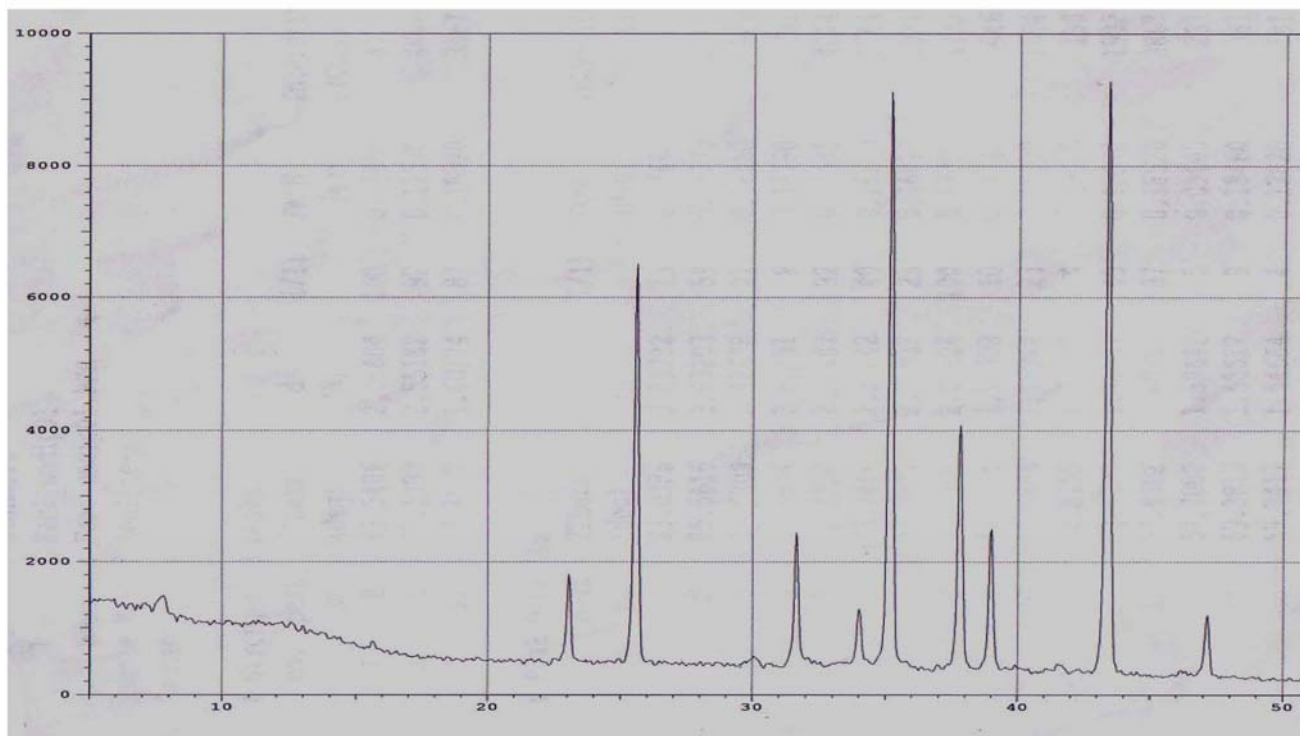
Zeolit X yang dihasilkan dikarakterisasi dengan analisa *X-Ray Diffraction* (XRD). Pencocokan hasil XRD antara produk hasil



Gambar 5. Karakterisasi zeolit X dari literatur dengan analisa *X-Ray Diffraction* [7]

Surface plot tiga dimensi yang terlihat pada Gambar 4 menggambarkan hasil persentase penjerapan zeolit X terhadap logam Fe dengan variasi suhu dan rasio berat NaOH 50%/waterglass. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin tinggi suhu operasi maka persentase penjerapan logam Fe semakin besar, tetapi pada suhu di atas 92 °C persentasenya menurun. Hal ini disebabkan semakin tinggi suhu, zeolit X semakin aktif, namun ketika suhu mencapai lebih dari 92 °C, aktivitasnya menurun. Penurunan aktifitas ini disebabkan pada suhu di atas 92 °C gugus Na sebagai kation *exchange* dalam penjerapan Fe telah larut dalam air. Demikian juga ketika rasio berat NaOH 50%/

percobaan dan zeolit X dari literatur dilakukan dengan melihat puncak-puncak yang diperoleh. Bila puncak-puncak yang terdapat pada XRD dari literatur mirip dengan XRD produk berarti produk yang dihasilkan sama dengan hasil dari literatur. Dari hasil XRD zeolit X pada literatur pada Gambar 5, diketahui bahwa tiga puncak tertinggi terdapat pada sudut $2\theta = 6,1^\circ$, $11,7^\circ$, dan $15,4^\circ$. Sedangkan tiga puncak tertinggi pada XRD produk hasil percobaan terdapat pada sudut $2\theta = 25^\circ$, 35° , dan $43,5^\circ$, seperti terlihat pada Gambar 6. Dari sudut-sudut yang diperoleh dalam kedua hasil XRD tersebut, menunjukkan bahwa produk yang dihasilkan dalam percobaan bukan



Gambar 6. Karakterisasi produk zeolit X dengan analisa *X-Ray Diffraction*

merupakan zeolit X karena puncak-puncak tertinggi tidak dihasilkan pada sudut yang sama serta memiliki intensitas yang berbeda.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat diambil kesimpulan bahwa suhu operasi yang optimum pada pembuatan zeolit X sebagai penjerap logam Fe adalah 92,3°C, sedangkan rasio berat NaOH 50%/waterglass yang optimum sebesar 1,85, dimana berdasarkan model yang diperoleh, hasil persentase penjerapan Fe maksimum dalam larutan FeSO₄ sebesar 85,36%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Dr. Istadi, ST, MT selaku Dosen Pembimbing dan semua pihak yang telah membantu terlaksananya seluruh rangkaian proses penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jansen, J.C., 1991, *The Preparation of Molecular Sieves*, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam
- [2] Flanigen, E.M., 1991, *Zeolite and Molecular Sieves An Historical Perspective*, Elsevier Science Publishers B.V., New York
- [3] Jong Dae Lee, Dong-Hwal Lee, No-Kuk Park, Si Ok Ryu, Tae Jin Lee, 2005, *The Preparation of Nanophase Tungsten Carbide Powder with Zeolite-X Catalysts*, *Current Applied Physics* 6, hal.1040-1043
- [4] Bell, R.G., 2001, *Promoting The Science of Nanoporous Materials*, British Zeolite Association Publications, London
- [5] Bouvy, C., et.al., 2006, *Photoluminescence Properties And Quantum Size Effect Of ZnO Nanoparticles Con.Ned Inside A Faujasite X Zeolite Matrix*, *Chem. Phys. Letters* 428, hal.312-316
- [6] Breck, D.W., 1974, *Zeolites Molecular Sieves, Structure, Chemistry, and Use*, John Willey and Sons, Inc., New York.
- [7] Treacy, M.M.J. and J.B. Higgins, 2001, *Collection of Simulated XRD Powder Patterns for Zeolites*, 4th ed., Elsevier Science Publishers B.V., New York