

Optimasi Proses Aktivasi Katalis Zeolit Alam dengan Uji Proses Dehidrasi Etanol Afria Happy Jestyssa (L2C006007) dan Dini Andinar Maygasari (L2C006037)

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, 50239, Telp/Fax: (024)7460058
Pembimbing: Ir. Hantoro Satriadi, M.T.

Abstrak

Katalisator adalah suatu bahan yang mempengaruhi laju reaksi kimia tetapi pada akhirnya keluar tanpa mengalami perubahan (Fogler, 1992; Levenspiel, 1999). Zeolit merupakan kristal alumina-silika yang mempunyai struktur berongga atau berpori dan mempunyai sisi aktif yang bermuatan negatif yang mengikat secara lemah kation penyeimbang muatan. Zeolit alam yang akan digunakan sebagai katalis perlu diaktivasi terlebih dahulu, yaitu melalui proses dealuminasi dan kalsinasi. Penelitian ini bertujuan melakukan proses aktivasi katalitik zeolit dengan mempelajari pengaruh konsentrasi pelarut amonium klorida dan diameter partikel katalis terhadap konversi etanol pada uji katalitik dengan proses dehidrasi etanol. Penelitian terdiri dari 3 tahap yaitu tahap dealuminasi, kalsinasi dan dehidrasi etanol. Variabel tetap dalam penelitian ini adalah berat katalis (35 gr), perbandingan berat katalis (1:1), waktu dealuminasi, kalsinasi, dan dehidrasi (masing-masing 10 jam, 5 jam, dan 15 menit), suhu dealuminasi, kalsinasi, dan dehidrasi (masing-masing 90°C, 600°C, dan 180°C), dan suhu preparasi tiap alat (30-50°C). Sedangkan variabel berubah dalam penelitian ini adalah konsentrasi pelarut NH₄Cl (2 dan 4 M) dan diameter partikel zeolit alam (0,25 mm dan 0,6 mm). Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa proses dehidrasi etanol menjadi dietil eter terjadi, ditunjukkan dengan adanya dietil eter pada sampel gas dan cairan yang dianalisis. Dalam pemilihan variabel yang berpengaruh, didapatkan persamaan matematika sebagai berikut :

$Y = 89,56 + 3,07X_1 - 0,80X_2 - 4,98X_1^2 - 6,64X_2^2 - 5,725X_1X_2$, dengan Y adalah konversi etanol, X_1 adalah nilai bilangan tak berdimensi untuk konsentrasi pelarut NH₄Cl, dan X_2 adalah nilai bilangan tak berdimensi untuk diameter partikel katalis, yang semua koefisiennya berada dalam daerah penerimaan H_0 sehingga semua koefisien dalam model matematika ini dapat digunakan dan model matematika dapat dikatakan valid. Nilai bilangan tak berdimensi optimum yang didapat adalah 0,455718 untuk konsentrasi pelarut NH₄Cl (2,544 M) dan -0,257053 untuk diameter katalis (0,459 mm) dengan prediksi konversi sebesar 90,359%.

Kata kunci : zeolit alam, aktivasi katalitik, dehidrasi etanol, konversi etanol, di etil eter

Abstract

Catalyst is a kind of material that can infect the rate of reaction. Zeolite is one of silica-alumina crystal that has specific porous-structure framework and an active site with its negative pole. Natural zeolite used as catalyst should be activated by dealumination and calcination process. This research is done to investigate the influences of ammonium chloride solution concentration and particle diameter of zeolite among the ethanol conversion by dehydration process. This research consist of three parts. They are dealumination, calcination, and catalytic test by dehydration itself. The fix variables chosen are weight of catalyst (35 gr), catalyst weight ratio (1:1), operation time (each 10 hours, 5 hours, and 15 minutes for dealumination, calcination, and dehydration process), operation temperature (each 90°C, 600°C, dan 180°C for dealumination, calcination, and dehydration process), and preparation temperature for each tools (30-50°C). The studied variables were ammonium chloride solvent concentration (2M and 4 M) and particle diameter of zeolite (0,25 mm and 0,6 mm). This research exhibit us that dehydration process is held, shown by the sample as gas and liquid that consist of diethyl ether product. The calculation of effects for each variables can be representated by a mathematic equation, which is:

$Y = 89,56 + 3,07X_1 - 0,80X_2 - 4,98X_1^2 - 6,64X_2^2 - 5,725X_1X_2$, which Y is ethanol conversion, X_1 is number of dimensionless NH₄Cl solvent concentration, and X_2 is number of dimensionless diametre of catalyst. All of this effect coeficient are classified to the acceptable area of H_0 . As another words, the model can be used because it is valid. Critical number of dimensionless for each variables are 0,455718 for concentration (2,544 M) and -0,25705 for catalyst diametre (0,459 mm) that gives predicted conversion as 90,359%.

Key words: natural zeolite, catalytic activation, ethanol dehydration, ethanol conversion, diethyl eter

1. Pendahuluan

Katalisator adalah suatu bahan yang mempengaruhi laju reaksi kimia tetapi pada akhirnya keluar tanpa mengalami perubahan (Fogler, 1992; Levenspiel, 1999). Salah satu jenis katalis yang banyak digunakan saat ini adalah zeolit. Zeolit adalah Kristal alumina-silika yang mempunyai struktur berrongga atau pori yang mempunyai sisi aktif yang bermuatan negatif yang mengikat secara lemah kation penyeimbang muatan. Di Indonesia, deposit zeolit alam cukup besar dan kemurniannya cukup tinggi. Daerah-daerah yang mempunyai tambang zeolit di antaranya adalah Lampung Selatan, Bayah, Cikembar, Cipatujah, Jawa Barat Nangapada, Kabupaten Ende NTT, Kabupaten Malang, dan Kabupaten Gunung Kidul. Konsentrasi silika dalam zeolit alam sekitar 60%, sedangkan pemanfaatannya masih terbatas untuk pengolahan air, pertanian, bahan tambahan pada pakan hewan, sebagai bahan imbuhan pada tanah dan kompos, sebagai pembawa herbisida dan pestisida, dan sebagai media tanam.

Pemakaian zeolit sebagai katalis telah banyak digunakan, di antaranya sebagai katalis dalam perengkahan minyak goreng (Widayat, 2005 dan 2006), sebagai katalis dalam proses konversi senyawa ABE menjadi hidrokarbon (Setiadi dan Pratiwi, 2007). Pengolahan zeolit alam menjadi katalis juga telah banyak dilakukan di antaranya dengan pengembunan dengan logam Cr (Setyawan dan Handoko, 2002), pengembunan dengan Fe_2O_3 untuk meningkatkan keasamannya (Trisunaryanti dkk, 2007). Pada umumnya zeolit yang ditambang langsung dari alam masih mengandung pengotor-pengotor organik berwujud kristal maupun amorf. Untuk meningkatkan kualitas zeolit alam, terutama sebagai pengembunan katalis, harus dilakukan aktivasi terhadap zeolit alam. Katalis yang digunakan untuk proses hidrasi dan dehidrasi adalah alumina dan MgO (Fogler, 1992) serta silika-alumina dan WO_3 (Thomas, 1970 dalam Smith, 1981). Karakteristik silika-alumina sebagai katalis dalam proses perengkahan mempunyai luas permukaan antara 200-600 m^2/gram , volume pori 0,2-0,7 cm^3/gram , dan diameter rata-rata 33-150 Å (Wheeler, 1950 dalam Smith, 1981).

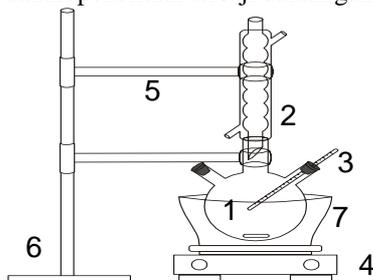
Dalam perkembangannya, banyak peneliti yang mengembangkan zeolit sebagai katalis dalam proses dehidrasi, di antaranya adalah dehidrasi etanol yang menggunakan komponen silika oksida, aluminium oksida, dan magnesium. Di etil eter selama ini dibuat dengan proses dehidrasi etanol dengan katalis asam sulfat (homogen). Penggunaan katalis heterogen juga sudah mulai dikembangkan, seperti katalis alumina, SAPO (silika alumina fosfat), dan amberlyst. Katalis amberlyst sudah banyak digunakan untuk produksi MTBE (metil tersier butil eter) dari isobutene dan metanol. Katalis alumina telah banyak digunakan untuk pembuatan di etil eter oleh de Boer, dkk, 1967. Zeolit juga telah digunakan seperti yang digunakan oleh Takahara, dkk, 2005, yaitu penggunaan H-modernite dengan perbandingan $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 90 lebih bagus atau stabil dibandingkan dengan H-modernite yang memiliki perbandingan $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ sekitar 20.

Dalam penelitian ini akan dipelajari pengaruh diameter katalis (zeolit) dan konsentrasi NH_4Cl terhadap perbandingan Si/Al pada aktivasi katalis zeolit alam yang akan digunakan untuk proses dehidrasi etanol menjadi dietil eter.

2. Bahan dan Metode Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah zeolit alam kabupaten Malang dan Gunung Kidul dengan perbandingan 1:1, larutan NH_4Cl , etanol teknis 96%, dan gas N_2 . Zeolit alam dihaluskan hingga diameternya sesuai dengan variabel yang diinginkan.

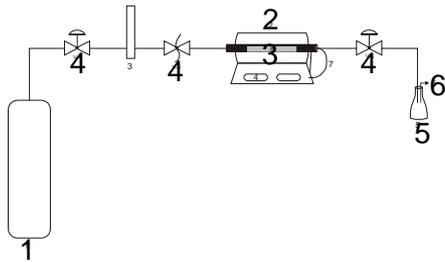
Proses penelitian dilakukan dalam tiga tahap, yaitu dealuminasi, kalsinasi, dan uji katalitik dengan proses dehidrasi etanol. Dealuminasi dilakukan dalam labu leher tiga yang dilengkapi dengan sebuah pendingin balik dan termometer. Kalsinasi dilakukan dengan meletakkan zeolit di dalam pipa nucel dan dipanaskan dengan furnace. Dalam proses ini dialirkan pula gas N_2 untuk mendorong impuritas keluar dari pori-pori katalis. Uji katalitik dilakukan dengan mengalirkan uap etanol dalam reaktor alir bentuk pipa yang di dalamnya terdapat katalis. Hasil reaksi dialirkan ke dalam pendingin agar terkondensasi. Rangkaian alat utama yang digunakan dalam penelitian tersaji dalam gambar 1, 2, dan 3.



Keterangan :

1. Labu leher tiga
2. Pendingin balik
3. Termometer
4. Magnetic Stirer + pemanas
5. Klem
6. Statif
7. Waterbath

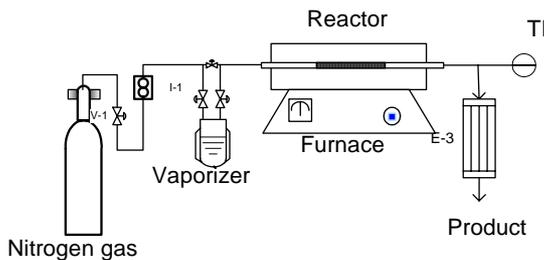
Gambar 1. Rangkaian Alat Dealuminasi



Gambar 2. Rangkaian Alat Kalsinasi

Keterangan :

1. Gas N₂
2. Furnace
3. Pipa nuccel
4. Valve
5. Penampung gas
6. Exhaust gas



Gambar 3. Rangkaian Alat Uji Katalitik

Penelitian dilakukan dengan variabel tetap yang digunakan adalah berat katalis (35 gr), perbandingan berat katalis (1:1), waktu dealuminasi, kalsinasi, dan dehidrasi (masing- masing 10 jam, 5 jam, dan 15 menit), suhu dealuminasi, kalsinasi, dan dehidrasi (masing – masing 90°C, 600°C, dan 180°C), dan suhu preparasi tiap alat (30-50°C). Sedangkan variabel berubah dalam penelitian ini adalah konsentrasi pelarut NH₄Cl (2 dan 4 M) dan diameter partikel zeolit alam(0,25 mm dan 0,6 mm).

Prosedur Penelitian

Tahap persiapan bahan

Zeolit alam kabupaten Malang dan Gunung Kidul dihaluskan hingga diameternya sesuai dengan variabel yang diinginkan.

Proses Dealuminasi Zeolit Alam

Proses dealuminasi dilakukan dengan mencampur zeolit alam sebanyak 35 gram dengan pelarut NH₄Cl sebanyak 700 ml. Campuran dimasukkan ke dalam labu leher tiga yang dilengkapi dengan magnetic stirer, pendingin balik dan dipanaskan hingga suhu 90°C dengan air pemanas dalam waterbath. Setelah suhu tercapai, waktu pengadukan dihitung selama 10 jam. Setelah pengadukan selesai, zeolit alam kemudian dicuci dengan aquadest hingga semua ion Cl⁻ hilang, lalu zeolit dikeringkan dengan oven.

Proses Kalsinasi Zeolit

Proses kalsinasi dilakukan dengan memasukkan zeolit hasil dealuminasi ke dalam pipa nuccel. Zeolit ini kemudian dipanaskan di dalam furnace bersuhu 600°C selama 5 jam. Waktu kalsinasi dihitung setelah tercapai suhu 600°C. Selama proses kalsinasi dialirkan pula gas N₂ dengan laju alir 1L/menit.

Proses Uji Katalitik dengan Dehidrasi etanol

Uji katalitik dilakukan dengan mendidihkan etanol dalam vaporizer lalu mengalirkan uapnya ke dalam reaktor alir bentuk pipa yang i dalamnya terdapat katalis zeolit yang sudah dikalsinasi. Suhu operasi diatur 180°C. Reaksi dimulai saat suhu operasi tercapai. Hasil reaksi dikondensasikan dengan pendingin bersuhu 5°C lalu ditampung dalam botol untuk proses analisis.

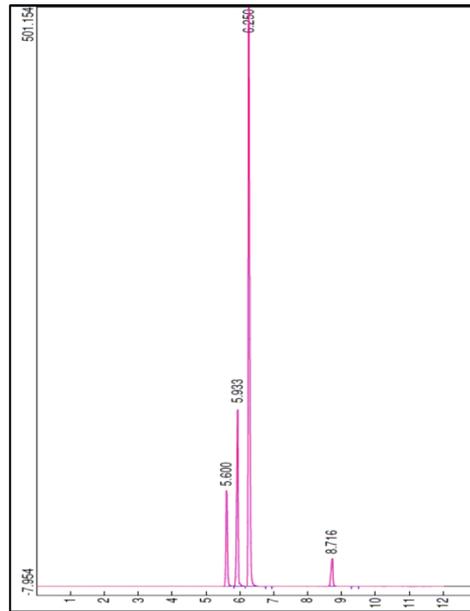
3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini, diperoleh hasil sebagai berikut :

Hasil Analisis Kualitatif untuk Larutan Standar

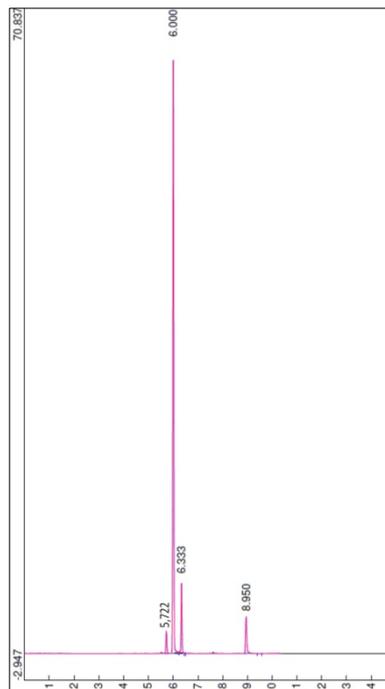
Hasil analisis Gas Kromatografi untuk larutan standar metanol, etanol, dietil eter, dan butanol dengan kadar dietil eter 30% menggambarkan peak- peak yang menunjukkan waktu retensi untuk masing- masing komponen. Waktu retensi adalah waktu yang diperlukan untuk pembakaran komponen oleh gas hidrogen dalam alat Gas Chromatograph. Setelah terjadi pembakaran, gas – gas ini akan terdeteksi oleh FID dan dapat tampak peak pada komputer. Senyawa yang lebih cepat terbakar akan memiliki waktu

retensi yang lebih kecil. Dalam gambar dapat dilihat bahwa waktu retensi untuk metanol adalah 5,600 menit, etanol 5,933 menit, dietil eter 6,250 menit, dan butanol 8,716 menit. Hasil analisis dapat dilihat pada gambar berikut ini :

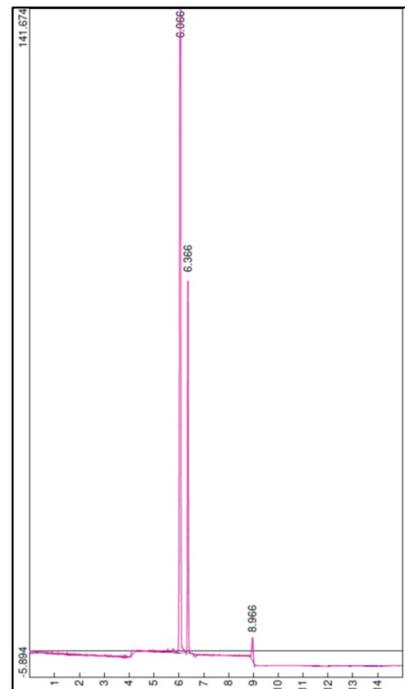


Gambar 4. Hasil Analisis Gas Kromatografi untuk Larutan Standar

Hasil Analisis Kualitatif untuk Sampel Gas dan Cairan



Gambar A



Gambar B

Gambar 5. Hasil Analisis Gas Kromatografi untuk Sampel Gas (A) dan Cairan (B)

Gambar di atas adalah hasil analisis gas kromatografi untuk sampel cairan dan gas. Dalam sampel fase gas (gambar A) terdapat empat buah peak yang mirip dengan peak pada larutan standar. Dapat diidentifikasi bahwa komponen yang ada dalam sampel gas adalah metanol dengan waktu retensi 5,772 menit, etanol dengan waktu retensi 6,000, dietil eter dengan waktu retensi 6,333, dan zat tambahan butanol dengan waktu retensi 8,950. Dalam sampel fase cair (gambar B) terdapat tiga buah peak yang dapat

diidentifikasi sebagai etanol dengan waktu retensi 6,066, dietil eter dengan waktu retensi 6,366, dan zat tambahan butanol dengan waktu retensi 8,966. Baik dalam sampel fase gas maupun cairan terdapat dietil eter. Hal ini menunjukkan adanya proses dehidrasi etanol menjadi dietil eter.

Pengaruh Variabel terhadap Konversi Etanol

Pada penelitian optimasi ini digunakan dua variabel berubah yaitu konsentrasi pelarut dan diameter katalis. Respon yang diamati adalah konversi etanol. Hasil konversi dapat dilihat dalam tabel berikut ini:

Tabel 1. Hasil Konversi Etanol Model dan Pengamatan

| Bilangan tak Berdimensi | | Nilai Aktual | | KONVERSI | |
|-------------------------|-------|--------------|-------|----------|--------|
| X1 | X2 | M | D | model | aktual |
| 0 | 0 | 3 | 0,425 | 89,56 | 89,14 |
| -1 | 1 | 4 | 0,25 | 79,79 | 87,42 |
| 0 | 0 | 3 | 0,425 | 89,56 | 89,97 |
| 1 | 1 | 4 | 0,6 | 74,49 | 84,05 |
| 1 | -1 | 2 | 0,6 | 87,54 | 80,17 |
| 1,41 | 0 | 3 | 0,672 | 83,98 | 82,42 |
| -1 | -1 | 2 | 0,25 | 69,95 | 60,64 |
| 0 | -1,41 | 1,59 | 0,425 | 77,49 | 89,25 |
| -1,41 | 0 | 3 | 0,178 | 75,33 | 76,46 |
| 0 | 1,41 | 4,41 | 0,425 | 75,23 | 63,02 |

Korelasi antara bilangan tak berdimensi dengan nilai aktual variabel adalah :

$$X_i = \frac{X_0 - X_t}{\left(\frac{X_a - X_b}{2}\right)}$$

- dengan
- X_i = nilai bilangan tak berdimensi,
 - X_0 = nilai aktual variabel
 - X_a = nilai atas aktual (tertinggi) variabel
 - X_b = nilai bawah aktual (terendah) variabel
 - X_t = nilai tengah aktual variabel

Dengan bantuan software statistica-6, diperoleh tabel koefisien regresi untuk merumuskan model matematika terhadap variabel sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Analisa Koefisien Regresi

| Regr. Coefficients; Var.:konversi; R-sqr=.43008; Adj:0, (Spreadsheet1) | | | | | | |
|--|-----------------|----------|----------|----------|----------------|----------------|
| 2 factors, 1 Blocks, 10 Runs | | | | | | |
| DV: konversi | | | | | | |
| Factor | Regressn Coeff. | Std.Err. | t(4) | p | -95,% Cnf.Limt | +95,% Cnf.Limt |
| Mean/Interc. | 89,55500 | 8,528006 | 10,50128 | 0,000465 | 65,8775 | 113,2325 |
| (1)konsentrasi(L) | 3,07359 | 4,264003 | 0,72082 | 0,510897 | -8,7652 | 14,9124 |
| konsentrasi(Q) | -4,98688 | 5,640746 | -0,88408 | 0,426591 | -20,6481 | 10,6743 |
| (2)diameter(L) | -0,80435 | 4,264003 | -0,18864 | 0,859561 | -12,6431 | 11,0344 |
| diameter(Q) | -6,63937 | 5,640746 | -1,17704 | 0,304437 | -22,3006 | 9,0218 |
| 1L by 2L | -5,72500 | 6,030211 | -0,94939 | 0,396184 | -22,4676 | 11,0176 |

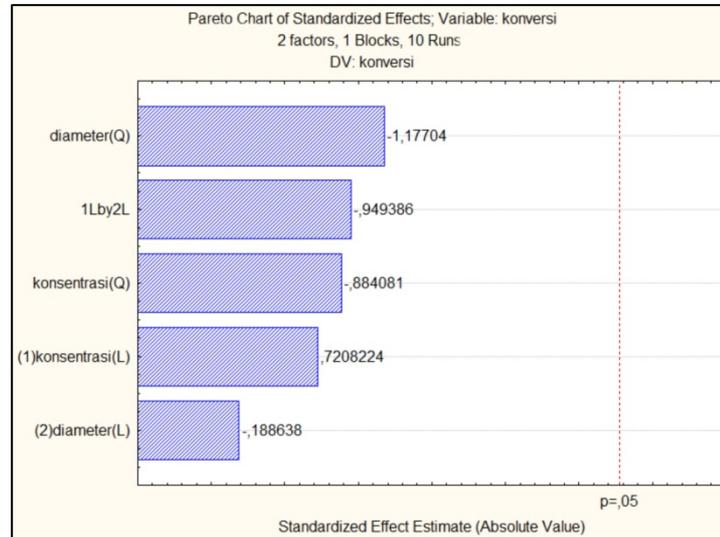
Persamaan matematika yang diperoleh adalah :

$$Y = 89,56 + 3,07X_1 - 0,80X_2 - 4,98X_1^2 - 6,64X_2^2 - 5,725X_1X_2$$

dengan Y adalah konversi etanol, X_1 adalah nilai bilangan tak berdimensi untuk konsentrasi pelarut NH_4Cl , dan X_2 adalah nilai bilangan tak berdimensi untuk diameter partikel katalis.

Harga p untuk semua variabel pada tabel koefisien regresi di atas besarnya lebih dari 0,5. Hal ini menunjukkan bahwa semua data masuk dalam daerah penerimaan ($p > 0,05$) H_0 sehingga semua koefisien dapat digunakan. Dapat dikatakan pula bahwa model matematika yang didapat valid.

Tabel koefisien regresi di atas dapat diperjelas dengan diagram pareto (pareto chart) untuk setiap variabel. Pareto chart yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

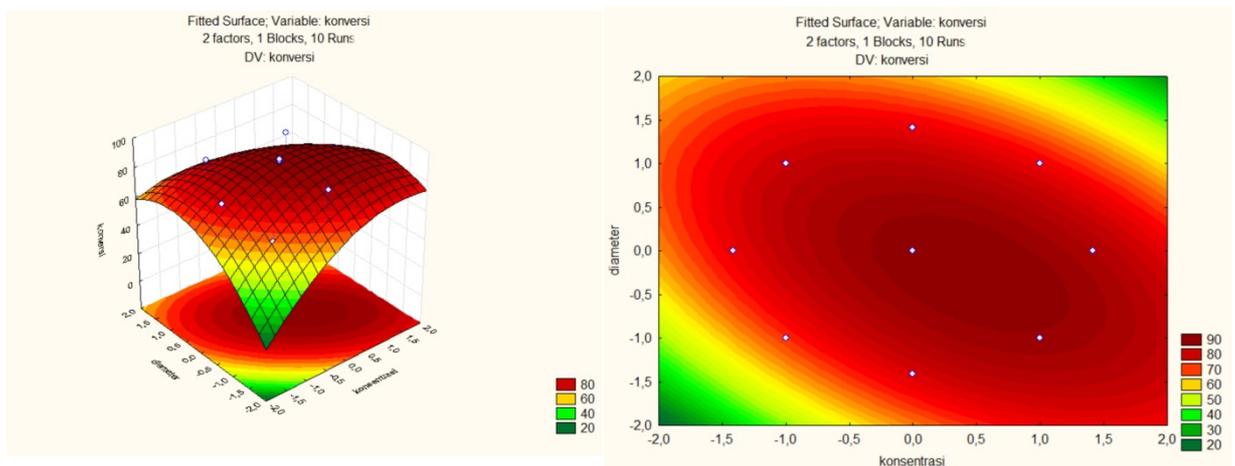


Gambar 6. Diagram Pareto Pengaruh Variabel terhadap Konversi Etanol

Gambar menunjukkan bahwa efek dari semua variabel dalam penelitian masih di bawah batas signifikan minimum dengan taraf keberartian 95% ($p=0,05$). Variabel dengan model kuadrat (Q) memberikan hasil yang lebih baik jika dibandingkan dengan model linear (L). Sedangkan kombinasi kedua variabel (1Lby2L) menunjukkan efek yang cukup besar. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh suatu variabel dipengaruhi oleh variabel yang lain dan tidak dapat berdiri sendiri. Dengan demikian efek interaksi dapat dikatakan memuaskan.

Profil Optimasi Proses

Profil optimasi proses dapat dilihat pada gambar 7 di bawah ini :



Gambar 7. Profil Response Fitted Surface dan Contour Plot dengan Respon Konversi Etanol

Grafik response fitted surface yang dihasilkan berupa parabola dan contour plot berbentuk oval. Hal ini menunjukkan bahwa jenis optimasi proses adalah maksimasi (memberikan hasil maksimum).

Harga kritis dari masing- masing variabel dapat dilihat pada tabel 3 di bawah ini :

Tabel 3. Nilai Kritis untuk Diameter dan Normalitas terhadap Konversi

| Critical values; Variable: konversi (Spreadsheet1) Solution: maximum Predicted value at solution: 90,35873 | | | |
|--|------------------|-----------------|------------------|
| Factor | Observed Minimum | Critical Values | Observed Maximum |
| konstraksi | -1,41421 | 0,455718 | 1,414214 |
| diameter | -1,41421 | -0,257053 | 1,414214 |

Dari tabel di atas, terlihat harga kritis bilangan tidak berdimensi untuk masing- masing variabel. Harga kritis bilangan tak berdimensi untuk normalitas pelarut NH_4Cl adalah 0,455718 dan untuk diameter katalis adalah -0,257053. Nilai aktual untuk masing – masing variabel apabila dihitung adalah 2,544 M untuk konsentrasi pelarut NH_4Cl dan 0,469 mm untuk diameter katalis dengan prediksi konversi optimum yaitu 90,359%.

4. Kesimpulan

Hasil analisis kualitatif menunjukkan adanya proses dehidrasi etanol menjadi dietil eter. Model matematika yang diperoleh adalah :

$Y = 89,56 + 3,07X_1 - 0,80X_2 - 4,98X_1^2 - 6,64X_2^2 - 5,725X_1X_2$, dengan Y adalah konversi etanol, X1 adalah nilai bilangan tak berdimensi untuk konsentrasi pelarut NH_4Cl , dan X2 adalah nilai bilangan tak berdimensi untuk diameter partikel katalis. Titik optimum untuk masing – masing variabel adalah 2,544 M untuk konsentrasi pelarut NH_4Cl dan 0,469 mm untuk diameter katalis yang dapat menghasilkan konversi etanol sebesar 90,359%.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kami sampaikan kepada Ir. Hantoro Satriadi, M.T. dan Widayat, S.T., M.T. atas bimbingan dan motivasi yang diberikan kepada penulis.

Daftar Pustaka

- Anonim. *Laporan Tahunan Kegiatan Penelitian*. BPPT Jakarta. 2007.
- Boveri M, C Ma´rquez-A´lvarez, M.A Laborde, dan E Sastre. *Steam And Acid Dealumination Of Mordenite Characterization And Influence On The Catalytic Performance In Linear Alkylbenzene Synthesis*. Catalysis Today. 2006. pp 217 255.
- De Boer, JH, RB Fahim, BGLinsen, WJ Vissere and WFNM deVlesschauer. *Kinetics of the Dehydration of Alcohol on Alumina*. Journal of Catalysis 7. 1967. pp163-17.
- Fogler, Scott H. *Elements of Chemical Reaction Engineering*. University of Michigan, USA. 1991.
- Fouad O.A., R.M. Mohamed, M.S. Hassanand I.A. Ibrahim. *Effect of template type and template_silica mole ratio on the crystallinity of synthesized nanosized ZSM-5*. Central Metallurgical Research and Development Institute. Cairo, Mesir. 2006.
- Lopez Gonzalez, J.D dan J Cano Luiz. *Surface Area Changes of a Vermiculite by Acid and Thermal Treatment*. Prosiding sixth National Conferenceon Clays and Clay Mineral. 1967. pp 1-6.
- Haber J., K. Pamin, L. Matachowski, B. Napruszewska, and J. Pol_towicz. *Potassium and Silver Salts of Tungstophosphoric Acid as Catalysts in Dehydration of Ethanol and Hydration of Ethylen*. Journal of Catalysis. 2006. pp 207, 296–306.
- Levenspiel, O. *Chemical Reaction engineering*. John Wiley and Sons. New York. 1999.
- Mahfud , MD, L Qadariyah, dan A Hayani. *Preparasi Katalis Zsm-5 Dengan Template Ethanol Untuk Reaksi Dehidrasi Methanol Menjadi Dimethyl Ether*. Prosiding Symposium dan Konggres Masyarakat Katalis Indonesia Kedua, Jurusan Teknik Kimia FT UNDIP dan Jurusan Kimia MIPA UNNES Semarang. 2007. pp 8-10.
- Qadariyah, L. *Preparasi dan karakterisasi Cu/Ni/Ga-HZSM-5 untuk konversi metana*. Laboratorium Teknik Reaksi Kimia, Jurusan Teknik Kimia, ITS. 2003.
- Smith, J.M. *Chemical Engineering Kinetics*. McGraw-Hill Book Co, Singapura. 1967.

- Trisunaryanti, W, S Purwono, dan Hastanti, 2007, *Preparasi Dan Karakterisasi Katalis Fe_2O_3 Yang Diimbangkan Pada Zeolit Alam Teraktivasi HCl Atau Na_2EDTA* . Prosiding Symposium dan Konggres Masyarakat Katalis Indonesia Kedua, Jurusan Teknik Kimia FT UNDIP dan Jurusan Kimia MIPA UNNES Semarang, 2007. pp 6-7.
- Van Bekkum, H, E.M Flanigen, and J.C. Jansen, *Introduction to Zeolite Science and Practice*. New York : Elsevier, USA. 1991.
- Widayat. *Pembuatan Bahan Bakar Biodiesel Dengan Proses Perengkahan Berkatalis Zeolit Dan Bahan Baku Minyak Goreng Berbahan Dasar Crude Palm Oil*, Prosiding Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia Jurusan Teknik Kimia FTI Institut Teknologi Surabaya, Surabaya, 23-24 Nopember 2005 , ISSN: 1410-5667.
- Widayat. *Pembuatan Bahan Bakar Cair dari Minyak Goreng Bekas dengan Proses Catalytic Cracking*. Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Katalis Indonesia (MKICS) Indonesian Catalyst Society 2006, Departemen Kimia MIPA UI, Departemen Gas dan Petrokimia FT UI, Pusat Penelitian Kimia LIPI MKI, 26-27 Juni 2006 ISSN: 979-8768-05-1.