



Sintesis Molibdenum Oksida Berpenyangga Silika sebagai Katalis pada Reaksi Oksidasi Etanol Menjadi Asetaldehida

Synthesis of Molybdenum Oxide with Silica Supported Catalyst for Oxidation of Ethanol to Acetaldehyde

Achyar Rasyidi¹, Fikri Hasfita^{2*}

¹World Vision Indonesia, Jl. Wahid Hasyim, Gedung 33, Jakarta Pusat

²Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe, Aceh Utara 24300, Indonesia

*E-mail: itaku_hf@yahoo.com

Abstrak

Oksidasi etanol membentuk asetaldehida dengan menggunakan katalis molibdenum oksida berpenyangga silika oksida telah dilakukan. Preparasi katalis dilakukan dengan metode impregnasi dengan rasio Mo : Si 1 : 1, 3 : 1, 6 : 1, 9 : 1. Karakterisasi katalis dilakukan menggunakan *X-Ray Diffractometer* (XRD). Hasil identifikasi menunjukkan bahwa komponen katalis yang telah dibuat mengandung kristal MoO₃ dan SiO₂. Uji kinerja katalis dilakukan terhadap reaksi oksidasi etanol menjadi asetaldehida. Reaksi oksidasi dilangsungkan dalam reaktor pipa lurus berunggun tetap yang beroperasi pada suhu 200°C, 225°C, 250°C, 275°C, 300°C, 325°C, dan 350°C pada tekanan atmosfer. Hasil uji kinerja menunjukkan bahwa konversi tertinggi diperoleh sebesar 91,99% pada temperatur 350°C menggunakan katalis dengan rasio Mo : Si = 9 : 1. Selektivitas tertinggi diperoleh sebesar 89,10% pada temperatur 200°C dengan rasio Mo : Si = 9 : 1. Yield tertinggi diperoleh sebesar 74,80% pada temperatur 350°C pada katalis dengan rasio Mo : Si = 9 : 1.

Kata kunci: asetaldehida, katalis MoO₃/SiO₂, oksidasi etanol

Abstract

Synthesize of molybdenum oxide with silica supported catalysts for oxidation of ethanol to acetaldehyde was done. The catalysts were prepared via impregnation method with Mo : Si ratio of 1 : 1, 3 : 1, 6 : 1 and 9 : 1. The synthesized catalysts were characterized with X-Ray Diffractometer (XRD). MoO₃ and SiO₂ were found in the resulted catalysts. Catalytic oxidation of ethanol to acetaldehyde was conducted in order to observe the performance of prepared catalysts. The reaction was carried out in the fixed bed tubular reactor at temperature of 200, 225, 250, 275, 300, 325, and 350°C in atmospheric pressure. The result showed that the highest conversion of 86.68% was achieved at temperature of 350°C in the catalyst with Mo : Si ratio of 3 : 1. The highest selectivity of 89.10% was attained at temperature of 200°C with Mo : Si ratio of 9 : 1. Furthermore, the highest yield of 74.80% was obtained at temperature of 350°C using catalyst with Mo : Si ratio of 9 : 1.

Keywords : acetaldehyde, catalyst MoO₃/SiO₂, oxidation of ethanol

1. Pendahuluan

Asetaldehida (CH₃CHO) merupakan komponen penting dalam banyak proses kimia. Asetaldehida pertama kali dibuat oleh Schleele pada tahun 1774 melalui proses reaksi mangan dioksida dan asam sulfur pada etanol. Produksi asetaldehida dari etanol melalui proses reaksi dehidrogenasi oksidatif dan oksidasi parsial alkohol menjadi senyawa-senyawa karbonil adalah salah satu reaksi terpenting dalam kimia sintesis. Dalam golongan aldehida, asetaldehida adalah senyawa yang memiliki reaktivitas yang paling tinggi, umumnya dimanfaatkan sebagai bahan baku intermediat dalam pembuatan bahan organik sintesis

(Antoniadou dkk., 2013). Bahan-bahan kimia yang merupakan hasil turunan asetaldehida antara lain: asam asetat, butil alkohol, butiraldehida, floral, piridin aseton, ester asetat, 1-butanol, selulosa asetat, resin finilasetan, 2-etil heksanol, asam kloroaseanat, dan pentaeritritol.

Sebagian besar asetaldehida digunakan sebagai bahan baku pembuatan pentaeritritol dan asam asetat. Kebutuhan asetaldehida terus meningkat setiap tahunnya. Karena asetaldehida merupakan komponen penting dalam banyak proses kimia, maka perlu diusahakan untuk mencari proses dan katalis yang lebih ekonomis dan kompetitif. Usaha-usaha untuk mendapatkan

proses dan mencari katalis pun terus dilakukan oleh para peneliti dunia. Berdasarkan kenyataan di atas maka perlu dilakukan studi mengenai pembuatan katalis $\text{MoO}_3/\text{SiO}_2$ untuk digunakan dalam oksidasi etanol menjadi asetaldehida.

Secara konvensional asetaldehida diproduksi melalui jalur *ethylene*, menggunakan $\text{PdCl}_2\text{-CuCl}_2$ sebagai katalis. Akan tetapi dikarenakan menipisnya cadangan minyak bumi yang dipakai untuk menghasilkan *ethylene*, proses ini dianggap tidak lagi menjanjikan untuk diaplikasikan di masa depan (Tang dkk., 2015). Prosedur lain untuk menghasilkan asetaldehida telah diusulkan dengan dehidrogenasi alkohol secara katalitik dan oksidasi parsial etanol (Abdullahi dkk., 2014). Etanol umumnya digunakan sebagai bahan bakar, baik sebagai campuran dengan bensin atau sebagai etanol murni. Etanol juga bisa diubah menjadi berbagai macam produk kimia berharga lainnya (Guan dan Hensem, 2013).

Takei dkk. (2011) melakukan review tentang berbagai macam proses yang bisa diterapkan untuk mengubah etanol menjadi senyawa-senyawa kimia seperti asetaldehida dan asam asetat. Mereka menyimpulkan bahwa transformasi bioetanol menjadi asetaldehida lebih menguntungkan dari pada memanfaatkannya untuk produksi asam asetat. Oksidasi etanol untuk produksi asetaldehida dengan bantuan katalis heterogen lebih menguntungkan karena harganya murah dan prosesnya yang aman dibandingkan proses konvensional yang melibatkan bahan kimia berbahaya seperti krom dan permanganat (Redina dkk., 2015).

Katalis besi-molibdenum oksida (Fe/Mo/O) adalah salah satu oksida semikonduktif yang terkenal dengan sensitivitas terhadap gas yang tinggi, dan sifat termal serta stabilitas yang bagus telah mengesankan banyak peneliti (Zhang dkk., 2015). Zhang juga mengusulkan proses alternatif baru untuk menghasilkan asetaldehida melalui reaksi oksidasi etanol dengan udara menggunakan katalis MoO_3 dalam rentang temperatur 180 - 240°C. Mereka membuktikan bahwa MoO_3 dapat digunakan sebagai katalis proses oksidasi etanol menjadi asetaldehida. Mereka menyarankan penggunaan penyangga TiO_2 , Al_2O_3 , dan SiO_2 . Oleh karena itu, studi pembuatan katalis MoO_3 berpenyangga SiO_2 perlu dilakukan untuk mendapatkan katalis yang aktif dan selektif untuk oksidasi etanol menjadi asetaldehida. Debecker dkk. (2011) menyatakan bahwa cara termudah membuat katalis berbasis MoO_3 adalah

dengan impregnasi prekursor Mo pada penyangga yang diinginkan. Proses ini berdampak bagus pada properti dari produk akhir katalis, seperti morfologi, sifat, dan proporsi dari Mo Oksida.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan katalis MoO_3 berpenyangga SiO_2 dan mempelajari pengaruh temperatur terhadap konversi etanol dan selektivitas asetaldehida. Reaksi pembuatan asetaldehida dilakukan pada temperatur 200, 225, 250, 275, 300, 325, 350, dan 375°C.

2. Metodologi

2.1. Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah ammonium hepta-molibdat $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ (Merck), silika oksida (SiO_2), etanol 99,8%, gas nitrogen (N_2) 99%, gas oksigen (O_2), dan aquades. Peralatan yang diperlukan untuk sintesis katalis meliputi timbangan digital, *magnetic stirrer*, cawan petri, *hot plate*, gelas ukur 100 ml, 250 ml, 500 ml, dan 1000 ml, kertas saring, dan oven. Untuk proses reaksi diperlukan reaktor gelas, *tube furnace* tipe 21100 *termolyne*, *termokopel* tipe K, *bubble soap flowmeter*, kondensor, dan pencatat gas tipe *Gascon GM-4A*.

2.2. Preparasi Katalis

Pembuatan katalis dilakukan dengan proses impregnasi garam *ammonium heptamolibdat* $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ pada penyangga SiO_2 , seperti yang dilaporkan sebelumnya (Husin dan Hasfita, 2006). Variasi perbandingan berat Mo : Si yaitu: 1 : 1, 3 : 1, 6 : 1 dan 9 : 1. Amonium heptamolibdat dan silika oksida masing-masing dilarutkan dalam air kemudian diaduk selama 2 jam. Kemudian keduanya dicampur sambil diaduk selama 4 jam. Campuran dikeringkan pada suhu 110°C dengan waktu pengeringan 4 jam, dan selanjutnya dikalsinasi pada suhu 400°C selama 6 jam dengan dialiri udara. Katalis yang terbentuk selanjutnya dikarakterisasi dengan mengidentifikasi fasa kristal yang terbentuk. Karakterisasi katalis dilakukan di Laboratorium XRD Jurusan Kimia Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

2.3. Uji Reaksi

Reaksi uji kinerja katalis dilangsungkan dalam reaktor pipa lurus berunggun tetap (*fixed bed tubular reactor*). Katalis dimasukkan ke dalam reaktor sebanyak 0,3

gram sebagai unggun tetap. Reaktor dipanaskan sampai suhu konstan 200°C. Udara dialirkan sebanyak 150 ml/menit melalui *bubble soap flow meter*. Campuran udara dan etanol diumpukan ke dalam reaktor dengan variasi temperatur 200, 225, 250, 275, 300, 325, dan 350°C, serta tekanan atmosfer. Produk didinginkan dalam kondensor sehingga diperoleh produk cair.

2.4. Analisis Produk

Hasil keluaran reaktor yang berupa produk gas dan cair dianalisis dengan menggunakan *Gas Chromatograph GC-8A* buatan shimadzu untuk mendeteksi dan menentukan fraksi mol produk. Analisis ini menggunakan detektor jenis TCD (*Thermal Conductivity Detector*) dengan kolom Porapak Q. Luas puncak dapat dihitung dengan alat *Cromatopac C-R6B*. Analisis produk dilakukan dengan temperatur injektor 130°C dan temperatur kolom 100°C. Kromatografi dikalibrasi dengan larutan standar yang telah diketahui komposisinya.

3. Hasil dan Pembahasan

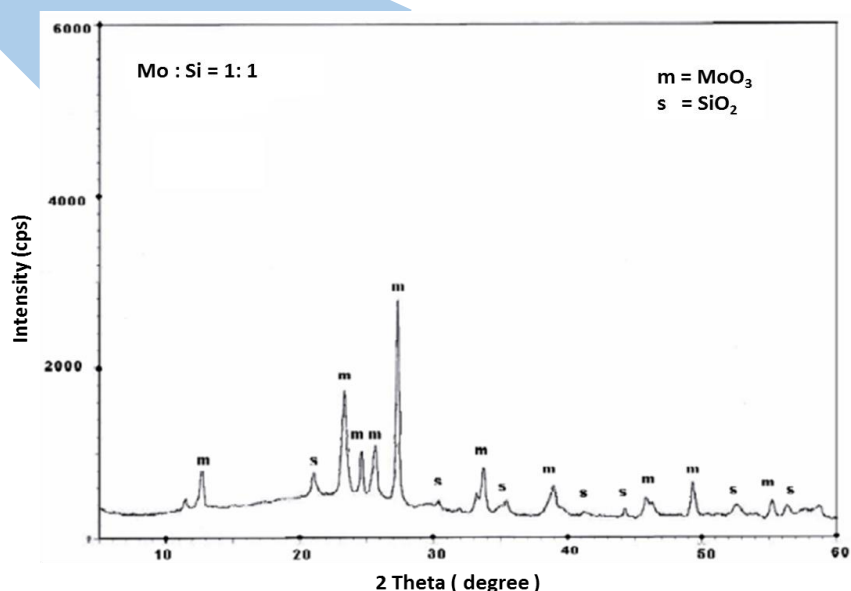
3.1. Identifikasi Katalis dengan X-ray Difraktometer (XRD)

Hasil karakterisasi sampel dengan perbandingan Mo : Si = 1 : 1 ditampilkan pada Gambar 1. Analisis data peak terhadap semua hasil pembacaan XRD ditabulasikan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Grafik XRD yang diperoleh memiliki nilai 2θ dari 10° sampai

60° dengan ukuran *scanning step* 0,02°. Grafik XRD sampel dibaca dengan membandingkan nilai d dari masing-masing *peak difraktogram sample* dengan nilai d difraktogram senyawa standar. Analisis XRD dilakukan terhadap semua sampel dengan berbagai rasio Mo dan Si.

Gambar 1. menunjukkan bahwa komponen katalis terdiri dari MoO₃ dan SiO₂. Terlihat bahwa tiga puncak utama karakteristik MoO₃ terdapat pada $2\theta = 23,44$; $2\theta = 25,79$ dan $2\theta = 27,42$ derajat. Sedangkan tiga puncak utama karakteristik SiO₂ terdapat pada $2\theta = 21,95$; $2\theta = 31,45$ dan $2\theta = 36,1$ derajat. Intensitas tertinggi MoO₃ pada katalis dengan rasio Mo : Si = 1 : 1 terdapat pada $2\theta = 27,42$ sebesar 2700 cps. Sedangkan intensitas tertinggi SiO₂ terdapat pada $2\theta = 21,95$ sebesar 790 cps. Puncak-puncak karakteristik MoO₃ terlihat lebih dominan karena memiliki intensitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan intensitas puncak-puncak SiO₂.

Data difraktogram spektrum XRD katalis MoO₃/SiO₂ dengan rasio Mo : Si = 3 : 1 memperlihatkan bahwa intensitas puncak-puncak karakteristik MoO₃ terjadi penurunan intensitas dibandingkan dengan sampel pada rasio Mo : Si = 1 : 1 (Tabel 1). Intensitas puncak-puncak karakteristik SiO₂ juga terjadi penurunan. Sebagai contoh, pada rasio katalis 1:1 pada $2\theta = 27,42$ intensitasnya 2700 cps, menurun menjadi 1750 cps pada katalis dengan rasio Mo : Si = 3:1.



Gambar 1. Difraktogram MoO₃/SiO₂, rasio Mo:Si = 1:1

Tabel 1. Puncak utama data hasil XRD senyawa MoO₃

No Puncak	Katalis Buatan							
	1 : 1		3 : 1		6 : 1		9 : 1	
	2θ (°)	Intensitas	2θ (°)	Intensitas	2θ (°)	Intensitas	2θ (°)	Intensitas
1	23,44	1700	23,44	800	23,44	2500	23,44	2600
2	25,79	1100	25,79	600	25,79	1750	25,79	1900
3	27,42	2700	27,42	1750	27,42	4500	27,42	4800

Tabel 2. Puncak utama data hasil XRD senyawa SiO₂

No Puncak	Katalis Buatan							
	1 : 1		3 : 1		6 : 1		9 : 1	
	2θ (°)	Intensitas	2θ (°)	Intensitas	2θ (°)	Intensitas	2θ (°)	Intensitas
1	21,95	790	21,95	200	21,95	690	21,95	800
2	31,45	489	31,45	180	31,45	600	31,45	500
3	36,10	500	36,10	197	36,10	505	36,10	600

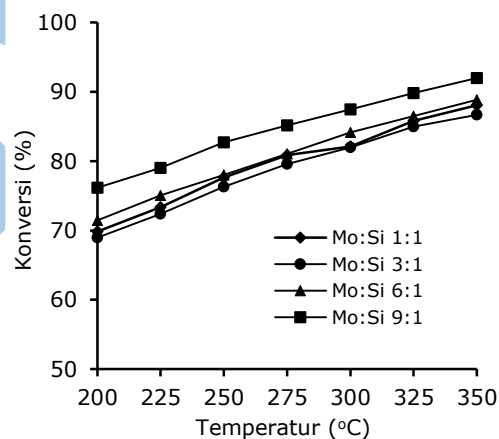
Intensitas pada $2\theta = 23,44$ derajat dari 1700 cps (katalis dengan rasio Mo : Si = 1 : 1) menurun menjadi 800 cps (katalis dengan rasio Mo : Si = 3 : 1). Intensitas SiO₂ juga terlihat menurun pada katalis dengan rasio Mo : Si = 3 : 1 dibandingkan katalis dengan rasio Mo : Si = 1 : 1. Sebagai contoh puncak SiO₂ pada katalis dengan rasio 1 : 1 yaitu $2\theta = 21,95$, intensitasnya 379 cps menurun menjadi 200 cps pada katalis dengan rasio Mo : Si = 3 : 1. Pada $2\theta = 36,1$ intensitas SiO₂ katalis dengan rasio Mo : Si = 1 : 1 500 cps menurun menjadi 197 cps; dan pada $2\theta = 31,45$ derajat intensitasnya 489 menurun menjadi 180 cps.

Perbandingan keempat difraktogram katalis MoO₃/SiO₂ menunjukkan bahwa puncak karakteristik MoO₃ cenderung meningkat dengan bertambahnya rasio Mo : Si yang disebabkan adanya interaksi antara spesies molibdenum dengan permukaan silika seperti yang dilaporkan oleh Wang dkk., (2015), kecuali pada rasio Mo : Si = 3 : 1. Hal ini dapat dilihat pada data puncak utama hasil XRD senyawa MoO₃ yang ditabulasikan pada Tabel 1. Sedangkan puncak karakteristik SiO₂ terlihat intensitasnya cenderung stabil, kecuali pada rasio Mo : Si = 3 : 1 yang ditabulasikan pada Tabel 2. Pembuatan katalis berhasil dengan baik karena fasa aktif katalis yaitu MoO₃ terbentuk dengan baik.

3.2. Pengaruh Temperatur terhadap Konversi Etanol

Pengujian kinerja katalis dilakukan melalui reaksi oksidasi etanol menjadi asetaldehida.

Reaksi dilangsungkan pada temperatur 200, 225, 250, 275, 300, 325, dan 350°C. Katalis yang dibuat memiliki rasio Mo : Si = 1 : 1, 3 : 1, 6 : 1 dan 9 : 1. Kurva pengaruh temperatur reaksi terhadap konversi etanol ditampilkan pada Gambar 2.

**Gambar 2.** Hubungan temperatur terhadap konversi etanol

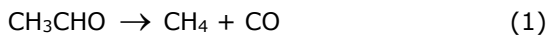
Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa peningkatan temperatur reaksi menyebabkan naiknya konversi etanol. Konversi tertinggi diperoleh sebesar 91,99% pada temperatur 350°C menggunakan katalis MoO₃/SiO₂ dengan rasio Mo : Si = 9 : 1. Kenaikan konversi ini sesuai dengan hukum Arrhenius yang menyatakan bahwa semakin tinggi temperatur maka laju reaksi juga semakin tinggi. Reaksi dapat dipercepat dengan menaikkan temperatur reaksi (T), dan menaikkan konsentrasi (C_i). Konversi maksimum dapat dicapai dengan banyaknya kalor yang terlibat di dalam reaksi. Dengan

demikian laju reaksi sama dengan jumlah tumbukan setiap satuan waktu.

Pada Gambar 2 dapat dipahami bahwa puncak-puncak dari komponen katalis dengan rasio Mo : Si = 9 : 1 memiliki intensitas yang tinggi. Hal ini kemungkinan karena katalis MoO₃/SiO₂ dengan rasio Mo : Si = 9 : 1 memiliki karakteristik yang lebih baik dibandingkan dengan katalis yang memiliki rasio Mo : Si = 1 : 1, 3 : 1, 6 : 1. Karakteristik yang lebih baik ini berkaitan dengan kenaikan rasio Mo : Si yang cenderung menaikkan derajat konversi. Fenomena ini terjadi karena pada saat pembuatan katalis dengan rasio Mo : Si = 9 : 1, konsentrasi Mo yang ditambahkan lebih tinggi, menyebabkan pori-pori penyangga Si akan lebih banyak terisi oleh fasa aktif Mo sehingga menyebabkan luas permukaan katalis menjadi lebih besar. Maka pada saat etanol bereaksi dengan oksigen, kemungkinan tumbukan antar reaktan di unggun reaktor juga menjadi lebih besar, Hal ini terjadi karena etanol dan oksigen di dalam unggun reaktor teradsorpsi lebih banyak pada fasa aktif katalis, sehingga reaksi kimia berjalan lebih cepat yang menyebabkan etanol yang terkonversi menjadi lebih besar pula.

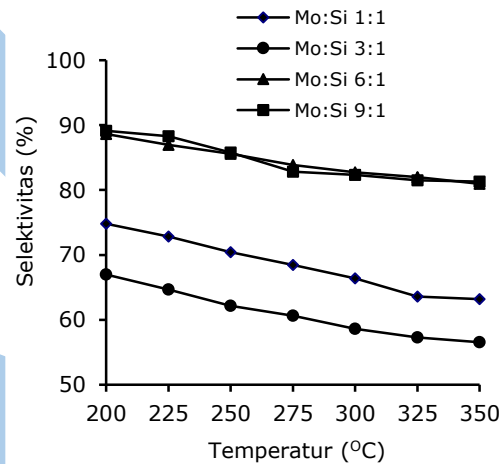
3.3. Selektivitas

Selektivitas asetaldehida pada berbagai temperatur reaksi diperlihatkan pada Gambar 3. Di sini tampak bahwa kenaikan temperatur reaksi menyebabkan selektivitas asetaldehida menurun. Selektivitas tertinggi diperoleh sebesar 89,10% pada temperatur 200°C menggunakan katalis MoO₃/SiO₂ dengan rasio Mo : Si = 9 : 1 turun menjadi 81,30% pada temperatur 350°C. Penurunan selektivitas kemungkinan disebabkan karena pada temperatur yang lebih tinggi terjadi oksidasi lebih lanjut dari asetaldehida menjadi CO dan CH₄. Hal ini sesuai dengan yang dilaporkan oleh Zhang dkk., (1995) bahwa pada temperatur tinggi akan terbentuk CO karena terjadi oksidasi lanjut menurut reaksi pada Persamaan 1.

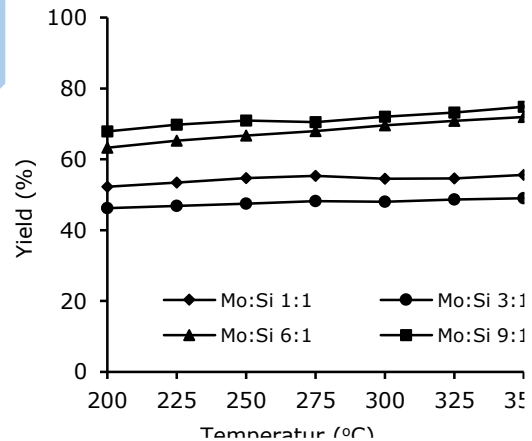


Kenaikan rasio Mo : Si cenderung menaikkan selektivitas asetaldehida. Hal ini dapat dilihat bahwa pada suhu 200°C penggunaan katalis dengan rasio Mo : Si = 1 : 1, 6 : 1, dan 9 : 1 memberikan selektivitas asetaldehida berturut-turut 74,78%; 85,58%; dan 89,10%. Fenomena ini disebabkan karena Mo sangat selektif terhadap pembentukan asetaldehida. Kecenderungan ini sesuai dengan yang

dilaporkan Husin dan Hasfita (2006) bahwa katalis molibdenum selektif terhadap produk asetaldehida. Penggunaan katalis dengan rasio Mo : Si = 3 : 1 terlihat mengalami penyimpangan dimana tidak menunjukkan kecenderungan seperti pada rasio Mo : Si=1 : 1, 6 : 1, 9 : 1. Katalis dengan rasio Mo:Si=3:1 menunjukkan selektivitas asetaldehida yang lebih rendah. Kejadian ini kemungkinan karena pada katalis dengan rasio Mo : Si = 3 : 1, senyawa MoO₃ tidak teradsorpsi dengan merata pada penyangga, sehingga etanol di dalam unggun tidak teroksidasi dengan baik.



Gambar 3. Selektivitas asetaldehida didapatkan pada berbagai temperatur reaksi



Gambar 4. Hubungan temperatur terhadap yield asetaldehida

3.4. Pengaruh Temperatur Reaksi terhadap Yield Asetaldehida

Pengaruh temperatur terhadap yield asetaldehida dengan rasio perbandingan katalis Mo : Si = 1 : 1, 3 : 1, 6 : 1, dan 9 : 1, diperlihatkan pada Gambar 4. Berdasarkan Gambar 4 terlihat bahwa temperatur reaksi berpengaruh terhadap yield asetaldehida. Semakin tinggi temperatur reaksi

yield asetaldehida cenderung meningkat. Hal ini dikarenakan asetaldehida (Tang dkk., 2015) dan katalis MoO_3 (Zhang dkk., 2015) memiliki selektivitas yang besar terhadap temperatur. Kenaikan temperatur ini berperan penting dalam membantu proses dekarbonilasi etanol menjadi asetaldehida (Tang dkk., 2015). Yield tertinggi diperoleh sebesar 74,80% pada temperatur 350°C dengan rasio katalis Mo : Si = 9 : 1.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa, katalis MoO_3 berpenyangga silika dibuat dengan cara impregnasi. Karakterisasi XRD menunjukkan komponen katalis yang dibuat terdiri dari MoO_3 dan SiO_2 . Semakin tinggi rasio perbandingan katalis maka intensitas MoO_3 juga semakin tinggi. Kenaikan temperatur reaksi menyebabkan meningkatnya konversi etanol dan menyebabkan kenaikan yield asetaldehida tetapi menurunkan selektivitas asetaldehida. Kenaikan rasio katalis Mo : Si menyebabkan meningkatnya konversi etanol dan yield asetaldehida tetapi menurunkan selektivitas asetaldehida. Konversi etanol tertinggi adalah 91,99% yang diperoleh pada temperatur reaksi 350°C dan menggunakan katalis $\text{MoO}_3/\text{SiO}_2$ dengan rasio 9 : 1. Selektivitas asetaldehida tertinggi adalah 89,10% yang diperoleh pada kondisi temperatur 200°C dan menggunakan katalis $\text{MoO}_3/\text{SiO}_2$ dengan rasio 9 : 1. Yield asetaldehida tertinggi adalah 74,80% yang diperoleh pada temperatur 350°C dan menggunakan katalis $\text{MoO}_3/\text{SiO}_2$ dengan rasio 9 : 1.

Referensi

- Abdullahi, I., Davis, T. J., Yun, D. M., Herrera, J. E. (2014) Partial oxidation of ethanol to acetaldehyde over surface-modified single-walled carbon nanotubes, *Applied Catalyst, A: General*, 469, 8 - 17.
- Antoniadou, M., Vaiano, V., Sannino, D., Lianos, P. (2013) Photocatalytic oxidation of ethanol using undoped and Ru-doped titania: Acetaldehyde, hydrogen or electricity generation, *Chemical Engineering Journal*, 224, 144 - 148.
- Debecker, D. P., Stoyanove, M., Rodemerck, U., Leonard, A., Su, BL., Gaigneaux, E. M. (2011) Genesis of active and inactive species during the preparation of $\text{MoO}_3/\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ metathesis catalyst via wet impregnation, *Catalyst Today*, 169, 60 - 68.
- Guan, Y., Hensem, J.M.E. (2013) Selective oxidation of ethanol to acetaldehyde by Au-Ir catalyst, *Journal of Catalysis*, 305, 135 - 145.
- Husin, H., Hasfita, F. (2006) Studi oksidasi etanol menjadi asetaldehida menggunakan katalis molibdenum oksida berpenyangga Al_2O_3 , TiO_2 , dan SiO_2 , *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 5 (1), 8 - 16.
- Redina, A. E., Greish, A. A., Mishin, I. V., Kapustin, G. I., Tkachenko, O. P., Kirichenko, O. P., Kustov, M. L. (2015) Selective oxidation of ethanol to acetaldehyde over Au-Cu catalysts prepared by a redox method, *Catalyst Today*, 241, 246 - 254.
- Takei, T., Iguchi, N., Haruta, M. (2011) Synthesis of acetaldehyde, acetic acid, and others by the dehydrogenation and oxidation of ethanol, *Catalysis Surveys from Asia*, 15, 80-88.
- Tang, C., Zhai, Z., Li, X., Sun, L., Wei, B. (2015) Sustainable production of acetaldehyde from lactic acid over the magnesium aluminate spine, *Journal of The Taiwan Institute of Chemical Engineers*, xxx, x - xx.
- Wang, S., Zhang, Y., Chen, T., Wang, G. (2015) Preparation and catalytic property of $\text{MoO}_3/\text{SiO}_2$ for disproportionation of methyl phenyl carbonate, *Journal of Molecular Catalysis: A Chemical*, 398, 248 - 254.
- Zhang, H., Yao, G., Wang, L., Su, Y., Yang, W., Lin, Y. (2015) 3D Pt/ MoO_3 nanocatalysts fabricated for effective electrocatalytic oxidation of alcohol, *Applied surface science*, 365, 294 - 300.