

HIDROGENASI CO₂ MENJADI METANOL DENGAN MENGGUNAKAN KATALIS ZEOLIT ALAM, ZEOLIT SINTESA ZSM-5 DAN KATALIS SINTESA Cu/ZnO/Al₂O₃

Yanna Syamsuddin dan Husni Husin
Laboratorium Teknik Reaksi Kimia dan Katalisis
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Darussalam, Banda Aceh-23111, Indonesia
Telepon: 0651-7412973, Fax: 0651-52222
email: yannasyam@yahoo.com

Abstract

The effect of CO₂ to the environment can be reduced by converting the gas into valuable product. One of the alternative ways to make use of CO₂ is by hydrogenation into methanol by catalyst. Research on hydrogenation of CO₂ into methanol over natural zeolite, synthesized zeolite ZSM-5 and synthesized Cu/ZnO/Al₂O₃ catalysts had been done. The synthesized Cu/ZnO/Al₂O₃ catalyst was prepared by impregnation method, while the synthesized ZSM-5 was prepared by gel permeation method. Components of the catalyst were characterized by XRD method. Catalyst activity was examined by reacting hydrogen, carbon dioxide and nitrogen with the ratio of 6 : 3 : 1. The research was conducted at temperature of 300-500°C, with the reaction time of 2 h and the catalyst loading of 1 g with the variation of catalyst used, natural zeolite, synthesized ZSM-5 and synthesized Cu/ZnO/Al₂O₃. The results of catalyst characterization showed that almost all of the characteristic peaks of natural zeolite were alumina and silica and component of Cu/ZnO/Al₂O₃ were Cu, CuO, ZnO, and Al₂O₃. The crystallinity of ZSM-5 was low. Results of hydrogenation reaction showed that the highest CO₂ conversion, methanol selectivity and methanol yield were 92%, 68% and 65%, respectively, obtained from the reaction over natural zeolite at reaction temperature of 500°C. Natural zeolite showed higher activity than synthesized ZSM-5 and Cu/ZnO/Al₂O₃.

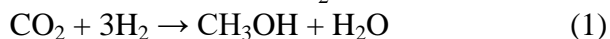
Keywords: carbon dioxide, catalyst, hydrogenation, methanol

1. PENDAHULUAN

Meningkatnya jumlah kendaraan bermotor telah membawa perubahan buruk terhadap iklim dan menimbulkan masalah pencemaran udara terutama di kota besar, terlebih lagi di negara berkembang. Misalnya di Indonesia, jumlah kendaraan tua dengan kondisi pembakaran yang tidak tepat cukup banyak, sehingga lebih banyak menghasilkan gas hasil pembakaran yang kurang sempurna. Pencemaran udara bersumber dari zat-zat kimiawi yang terkandung dalam bahan bakar dan senyawa-senyawa lain dari proses pembakaran pada kendaraan bermotor. Senyawa atau unsur terkandung dalam bahan bakar adalah karbonmonoksida (CO), karbondioksida (CO₂), hidrokarbon (HC),

nitrogen oksida (NO_x), oksida belerang (SO_x) dan timbal (Pb).

Salah satu alternatif untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan mengkonversikan CO₂ menjadi metanol melalui proses hidrogenasi. Reaksi hidrogenasi berlangsung pada tekanan tinggi. Reaksi sintesa metanol dari CO₂ adalah:



Tetapi pada kenyataan di industri, reaksi sintesa metanol juga melibatkan campuran gas yang terdiri dari CO, CO₂ dan H₂. Sehingga dapat dikatakan, selain reaksi (1), reaksi-reaksi yang mungkin terjadi adalah:



Peningkatan perolehan metanol sangat penting untuk memisahkan secara langsung produk-produk reaksi yang terkondensasi (CH_3OH dan H_2O) (Gallucci, Paturzo dan Basile, 2004).

Melalui reaksi sintesa (1), CO_2 dapat dikonversikan menjadi metanol. Konversi tersebut dapat ditingkatkan dengan penggunaan katalis yang berperan mempercepat jalannya reaksi dan mengarahkan reaksi untuk menghasilkan produk yang diinginkan. Pada tahun 1991, Fujita melakukan percobaan mengenai sintesa metanol dari CO_2 dan H_2 dengan menggunakan katalis Cu/ZnO pada tekanan atmosfer. Menurut Arakawa dan Sayama (1992), dari reaksi hidrogenasi juga kemungkinan menghasilkan CH_4 sebagai reaksi samping.

Metanol sebagai bahan kimia industri yang telah digunakan secara luas untuk menghasilkan berbagai bahan kimia lain. Sekitar sepertiga dari produksi metanol digunakan untuk membuat formaldehida. Metanol adalah salah satu produk pemanfaatan CO_2 yang dapat diubah menjadi bahan bakar hidrokarbon cair melalui teknologi konversi yang tersedia pada saat ini. Metanol memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan baku dari bahan bakar kendaraan bermotor atau sebagai gasoline pada proses MTG (*Methanol-to-Gasoline*), meskipun proses ini belum ada secara komersial. Bahkan menurut kalangan industri otomotif diramalkan metanol akan menjadi bahan bakar kendaraan di masa depan. Perkiraan tersebut berhubungan dengan meningkatnya kepedulian masyarakat terhadap lingkungan. Dibandingkan dengan bensin, metanol mempunyai bilangan oktan yang lebih tinggi, dapat menghasilkan emisi CO dan NO yang rendah, serta bebas belerang dan timbal. Selain itu, metanol juga digunakan sebagai bahan baku untuk industri kloro metana dan amina asetat. Dilihat dari cukup bervariasinya penggunaan metanol, maka perlu dilakukan studi mengenai konversi gas CO_2 menjadi metanol.

Proses produksi metanol melalui reaksi hidrogenasi CO_2 menarik minat banyak peneliti. Hal ini dikarenakan proses tersebut yang berwawasan lingkungan. Penelitian lanjutan yang dewasa ini dilakukan lebih tertuju pada pemilihan jenis katalis yang stabil, murah, dapat dilangsungkan pada temperatur dan tekanan rendah dan dapat menghasilkan produk yang maksimal. Selama ini reaksi hanya dilangsungkan pada tekanan tinggi sehingga biaya operasional yang dibutuhkan juga tinggi. Katalis yang umum digunakan di industri adalah yang berbasis Cu dan Zn , yang diakui memiliki kinerja cukup tinggi dalam sintesa metanol.

Pada penelitian ini dicoba untuk menggunakan katalis komersil dan sintesa. Katalis komersil yang digunakan adalah zeolit alam. Zeolit mempunyai sifat-sifat mengadsorpsi, sebagai penukar kation dan katalis/penyangga. Dengan melihat komposisi zeolit maka diharapkan zeolit dapat digunakan sebagai katalis. Selain itu juga dapat memberikan konversi dan selektivitas yang cukup memadai. Katalis sintesa yang direncanakan adalah ZSM-5 dan $\text{Cu/ZnO/Al}_2\text{O}_3$. Dengan membandingkan kestabilan katalis, konversi CO_2 dan perolehan serta selektivitas metanol dari ketiga katalis tersebut, diharapkan dapat diperoleh jenis katalis dan kondisi operasi yang sesuai untuk reaksi hidrogenasi pada masa yang akan datang.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan sintesa metanol dengan proses hidrogenasi CO_2 dengan memvariasikan penggunaan jenis katalis. Katalis yang digunakan yaitu zeolit alam, zeolit sintesa ZSM-5 dan $\text{Cu/ZnO/Al}_2\text{O}_3$. Selain itu juga dimaksudkan untuk mempelajari pengaruh variasi dari temperatur terhadap konversi CO_2 dan perolehan serta selektivitas metanol.

Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi tambahan mengenai proses produksi metanol yang dilangsungkan pada tekanan atmosfer dan pengembangan katalis yang

memiliki kinerja cukup tinggi terhadap reaksi hidrogenasi CO₂. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat mengurangi efek emisi CO₂ terhadap lingkungan.

2. METODOLOGI

Penelitian ini dibagi dalam 3 tahap, yaitu: preparasi katalis, karakterisasi katalis dan uji reaksi hidrogenasi.

Preparasi Katalis

Katalis yang dipersiapkan adalah zeolit alam, zeolit sintesa ZSM-5 dan Cu/ZnO/Al₂O₃.

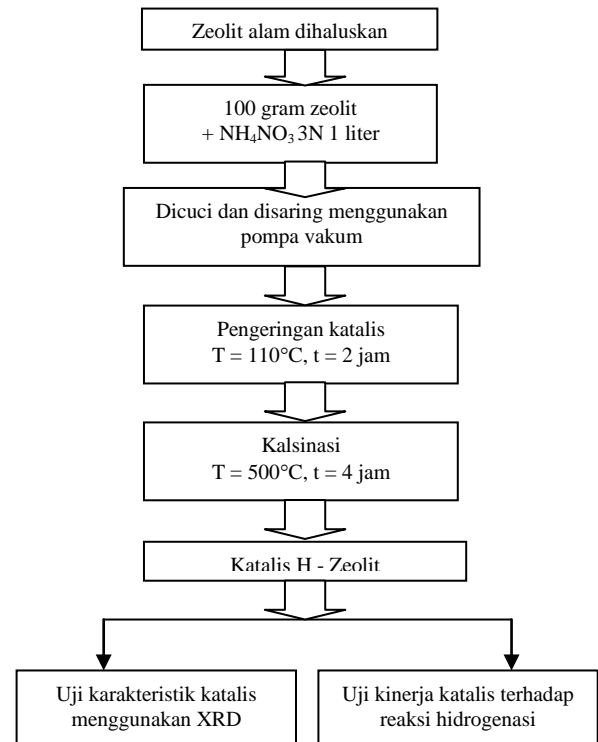
Katalis Zeolit Alam

Zeolit alam dihaluskan hingga lolos ayakan 40 mesh. Zeolit tersebut diaktivasi menjadi H-zeolit. Aktivasi dilakukan dengan cara mencampurkan 100 gram zeolit ke dalam 1 L NH₄NO₃ 3N dan diaduk selama 1 jam. Campuran tersebut dicuci dengan akuades dan disaring dengan menggunakan pompa vakum. Proses pencucian dilakukan berulang sampai sebanyak 4 kali. Cake yang terbentuk selanjutnya dikeringkan dalam oven pada temperatur 110°C selama 2 jam. Katalis H-zeolit diperoleh setelah proses kalsinasi pada temperatur 500°C selama 4 jam (Damayanti dan Mahfud, 2000). Proses kalsinasi tersebut dilakukan di dalam oven. Katalis yang diperoleh sebagian dikarakterisasi dan sebagian yang lain digunakan untuk reaksi hidrogenasi. Diagram alir proses preparasi katalis zeolit alam secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 1.

Katalis Zeolit Sintesa (ZSM-5)

Katalis zeolit sintesa yang digunakan adalah ZSM-5. Katalis ini dibuat dengan cara melarutkan silika dengan akuades dan secara bersamaan Al(OH)₃ dilarutkan dalam larutan NaOH 40% pada temperatur kamar. Kemudian kedua larutan tersebut dicampur, dan ditambahkan metanol ke dalam campuran tersebut untuk membentuk gel. Selanjutnya campuran yang terbentuk disaring, sehingga diperoleh *filter cake*. Kemudian dilakukan

reaksi *hydrothermal* terhadap *cake* yang terbentuk dengan menggunakan labu leher tiga. Reaksi tersebut berlangsung pada temperatur 120°C selama 9 jam, sampai terbentuk kristal.



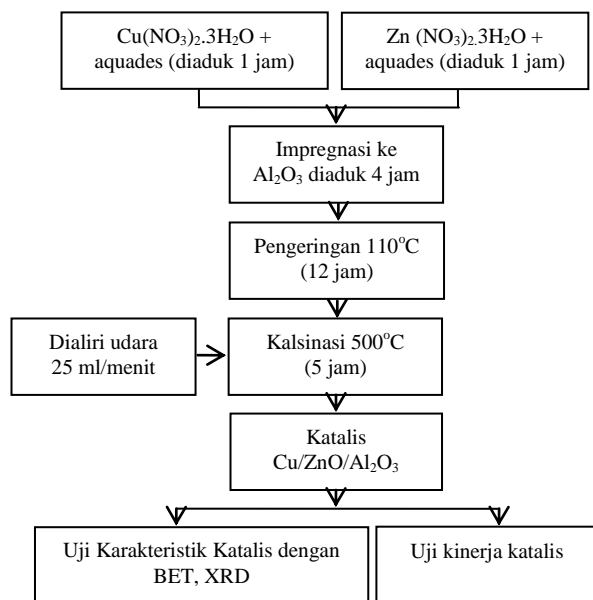
Gambar 1. Skema Proses Preparasi Katalis H-Zeolit

Kristal yang terbentuk diuji dengan X-Ray Diffractometer (XRD) untuk mengidentifikasi fase kristalnya. Kristal yang terbentuk diaktifkan dengan cara yang sama seperti pengaktifan zeolit alam yaitu dengan cara menambahkan NH₄NO₃ 2N dan kemudian dicuci dengan akuades dan disaring dengan menggunakan pompa vakum. Perlakuan ini diulang sebanyak 4 kali. Kemudian sampel dikeringkan di dalam oven pada temperatur 110°C selama 8 jam dan dikalsinasi pada temperatur 550°C selama 4 jam. Diagram alir proses preparasi katalis zeolit sintesa dapat dilihat pada Gambar 2.

Katalis Sintesa Cu/ZnO/Al₂O₃

Preparasi katalis Cu/ZnO/Al₂O₃ dilakukan dengan metode impregnasi. Garam Cu(NO₃)₂·3H₂O dan Zn(NO₃)₂·6H₂O masing-

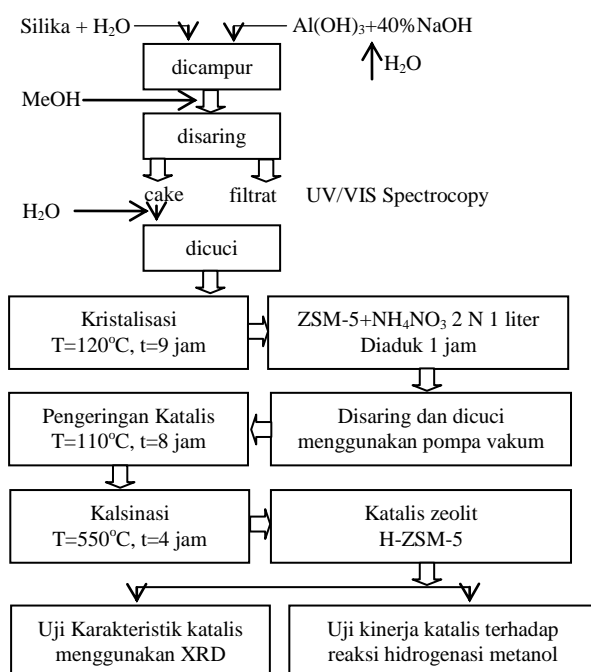
masing ditimbang dengan perbandingan tertentu lalu ditambahkan sejumlah akuades dan diaduk selama 1 jam dengan menggunakan pengaduk magnetik. Campuran tersebut diimpregnasi dengan penyangga γ - Al_2O_3 dan diaduk selama 4 jam. Sampel dikeringkan dalam oven pada temperatur 110°C selama 12 jam dan dilanjutkan dengan kalsinasi pada temperatur 500°C selama 5 jam dalam reaktor dengan mengalirkan udara pada laju alir 25 mL/menit (Tanaka dkk., 2003). Katalis hasil sintesa sebagian dikarakterisasi dan sebagian lagi disimpan dalam desikator sebelum digunakan untuk reaksi. Diagram alir proses preparasi katalis dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Skema Proses Preparasi Katalis Zeolit Sintesa ZSM-5

Karakterisasi Katalis

Karakterisasi katalis dilakukan dengan menggunakan XRD. Karakterisasi ini dimaksudkan untuk mengidentifikasi fase kristal dari katalis. Grafik XRD yang diperoleh untuk nilai 2θ dari 10 sampai 70° dengan ukuran *scanning step* $0,05^\circ$. Grafik XRD sampel dapat dibaca dengan membandingkan nilai d dari masing-masing puncak sampel dengan nilai d XRD standar. Analisis XRD dilakukan di Laboratorium XRD Jurusan Kimia, UGM.



Gambar 3. Skema Proses Preparasi Katalis Sintesa Cu/ZnO/Al₂O₃

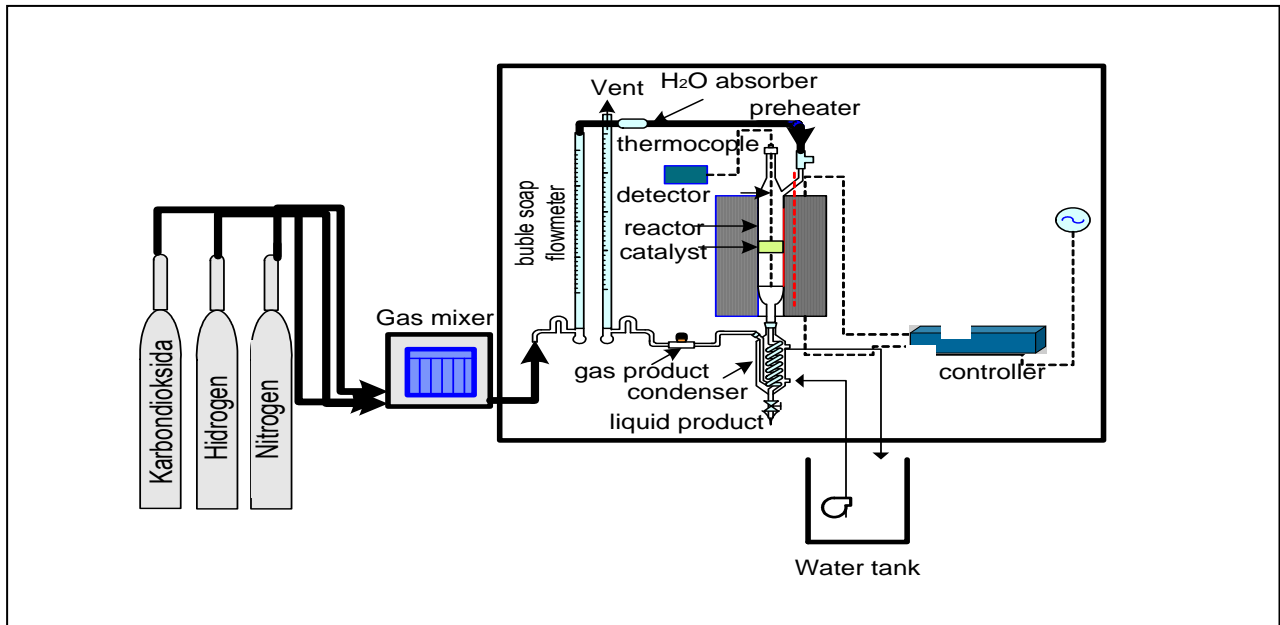
Uji Kinerja Katalis Melalui Proses Hidrogenasi

Uji reaksi hidrogenasi dilakukan dalam *fixed bed tubular reactor* dengan ukuran diameter 2 cm dan panjang 60 cm. Reaktor ditempatkan dalam *furnace* berbentuk silinder yang dilengkapi dengan sistem pengendali suhu. Katalis sebanyak 1 gram dimasukkan ke dalam reaktor sebagai unggun tetap. Campuran gas yang terdiri dari H_2 , CO_2 dan N_2 dengan perbandingan 6 : 3 : 1 diumpankan ke dalam reaktor dengan laju aliran sebesar 100 ml/menit. Reaksi berlangsung pada temperatur tertentu selama 2 jam. Produk yang dihasilkan dari reaksi ini didinginkan dalam sebuah kondensor sehingga diperoleh 2 fasa produk, yaitu produk gas dan produk cair. Produk cair ditampung pada bagian bawah kondensor. Produk gas yang terbentuk dialirkan melalui *bubble soap flow meter* sehingga laju aliran yang terjadi dapat diukur. Rangkaian alat reaksi hidrogenasi secara detail dapat dilihat pada Gambar 4.

Produk reaksi dianalisis dengan menggunakan *Gas Chromatography GC-14B* buatan

Shimadzu untuk menentukan konversi CO₂, *yield* dan selektivitas metanol. Alat ini dilengkapi dengan sebuah detektor jenis TCD (*Thermal Conductivity Detector*) dan kolom PEG-20M dengan panjang 3 meter.

Kromatografi dikalibrasi dengan menggunakan larutan standar yang telah diketahui komposisinya. Hasil analisis ini yang akan digunakan untuk menentukan aktivitas katalis.



Gambar 4. Rangkaian Alat Reaksi Hidrogenasi

Penentuan Aktivitas Katalis

Aktivitas katalis dinyatakan dalam bentuk konversi, selektivitas dan perolehan. Konversi (X) merupakan perbandingan antara mol reaktan yang bereaksi dengan mol reaktan yang masuk. Selektivitas (S) adalah perbandingan antara mol produk yang terbentuk dengan mol reaktan yang bereaksi. Perolehan (Y) adalah perbandingan antara mol produk yang terbentuk dengan mol reaktan yang masuk.

Penentuan konversi, selektivitas dan perolehan dilakukan dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut:

3

a. Penentuan konversi CO₂

$$X_{CO_2} = \frac{molCO_{2,in} - molCO_{2,out}}{molCO_{2,in}} \times 100\%$$

b. Penentuan selektivitas CH₃OH

$$S_{CH_3OH} = \frac{molCH_3OH,out}{molCO_{2,in} - molCO_{2,out}} \times 100\%$$

c. Penentuan perolehan CH₃OH

$$Y_{CH_3OH} = \frac{molCH_3OH,out}{molCO_{2,in}} \times 100\%$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

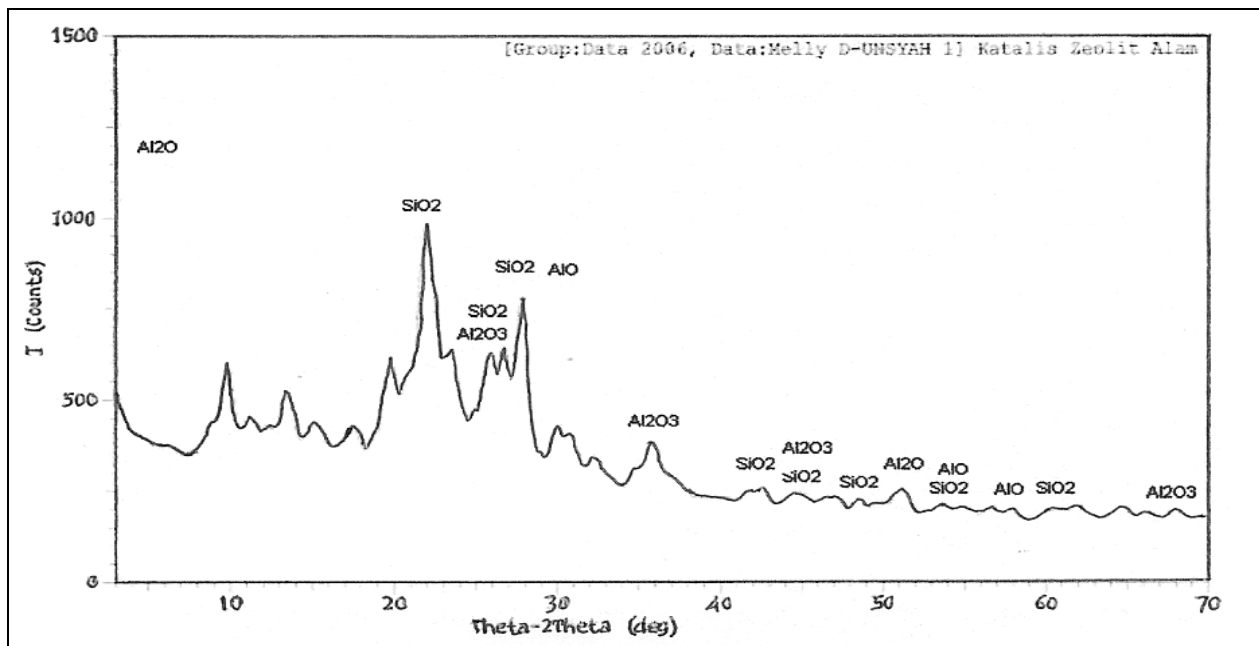
Penelitian ini dibagi dalam 3 tahap, yaitu tahap preparasi katalis, tahap karakterisasi katalis dan tahap uji reaksi hidrogenasi pada temperatur dan penggunaan katalis yang bervariasi.

Karakterisasi Katalis

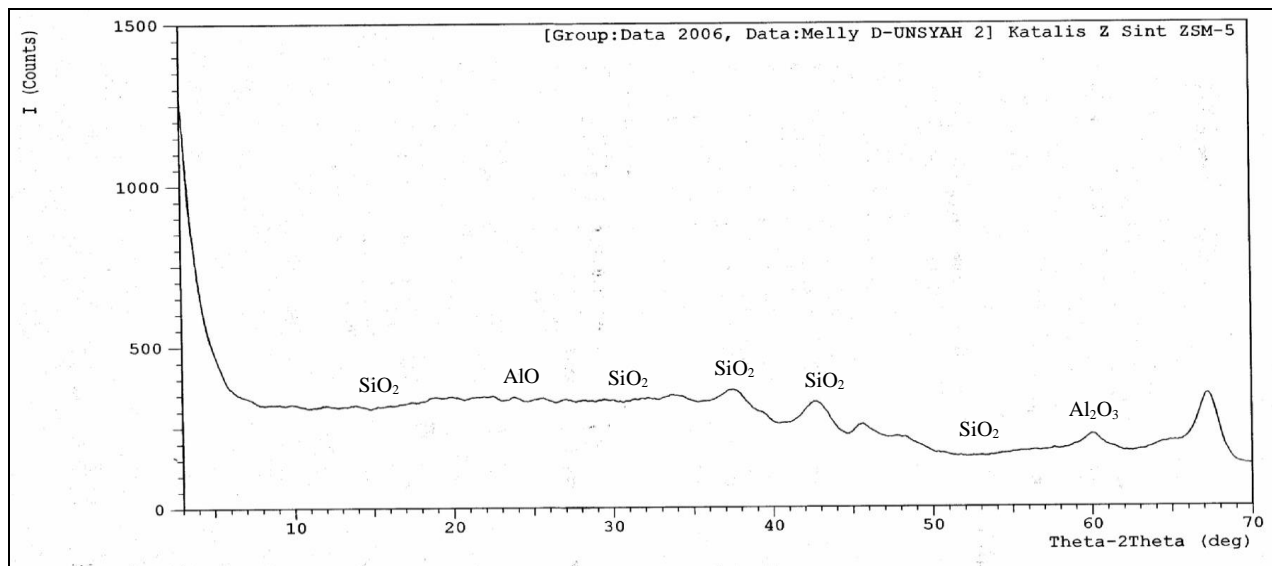
Katalis yang sudah dibuat perlu dikarakterisasi sebelum digunakan untuk reaksi hidrogenasi. Karakterisasi katalis dilakukan menggunakan metoda XRD yang bertujuan untuk identifikasi komponen-komponen penyusun katalis. Grafik XRD sampel dibaca dengan membandingkan nilai d dari masing-masing puncak (peak) dari sampel dengan nilai d XRD standar. Difraktogram masing-masing katalis disajikan pada Gambar 5, 6 dan 7.

Dari difraktogram yang ditunjukkan pada Gambar 5, terlihat bahwa hampir seluruh puncak karakteristik zeolit merupakan senyawa alumina dan silikon. Hal ini sesuai dengan definisi yang menjelaskan bahwa zeolit alam merupakan kristal aluminosilikat hidrat yang terdiri dari unsur-unsur golongan

IA (logam alkali) dan IIA (logam alkali tanah) seperti: natrium, kalium, magnesium, dan kalsium (Sembiring, 2004). Lebih lanjut dijelaskan bahwa zeolit terbentuk dari unit-unit tetrahedra Al_2O dan SiO_4 yang merupakan kerangka dasar struktur zeolit dengan atom silikon dan aluminium sebagai pusatnya.



Gambar 5. Difraktogram Katalis Zeolit Alam



Gambar 6. Difraktogram Katalis Zeolit Sintesa ZSM-5

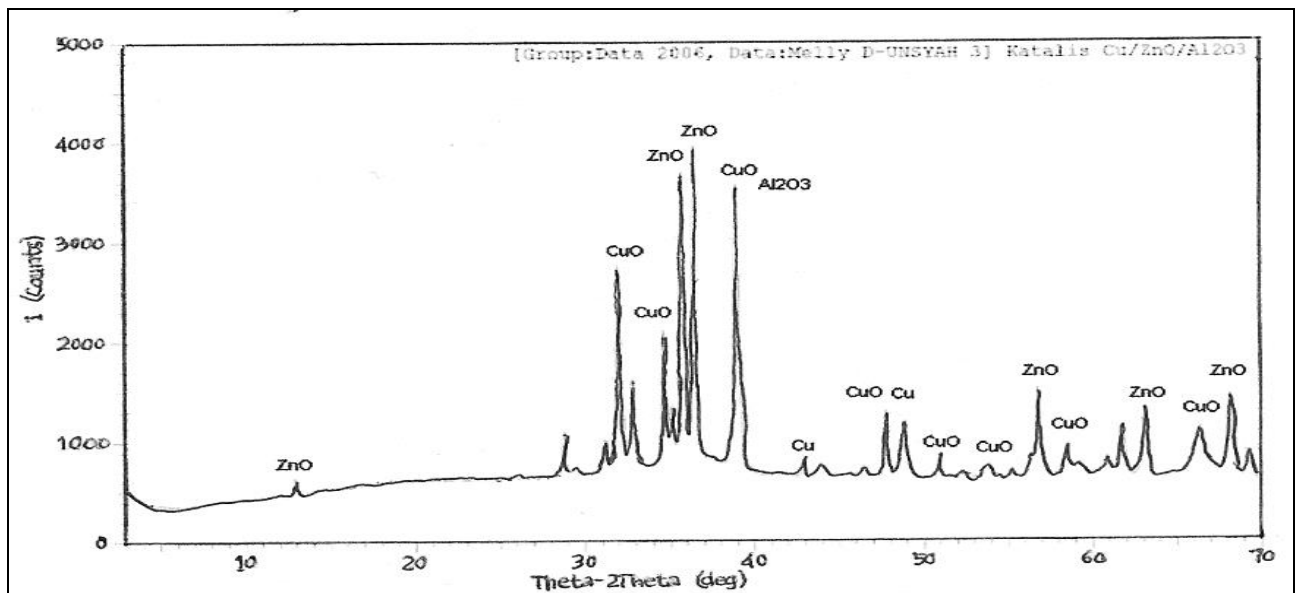
Gambar 6 memperlihatkan bahwa komponen dari zeolit sintesa terdiri dari SiO_2 , AlO dan Al_2O_3 . Intensitas dari puncak-puncak

karakteristik SiO_2 dan Al_2O_3 terlihat sangat rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa persen kristalinitas dari zeolit sintesa yang terbentuk

sangat rendah. Rendahnya nilai kristalinitas tersebut dimungkinkan karena dipengaruhi oleh jumlah alkali (NaOH) yang digunakan. Jumlah alkali yang ditambahkan akan mempengaruhi proses kristalisasi. Lee dkk (2004) menjelaskan bahwa jumlah alkali yang tinggi akan cenderung membentuk fase lain seperti sodalite dan analcime. Selain itu pembentukan sodalite dan analcime juga dipengaruhi oleh

temperatur dan waktu pada proses sintesa. Temperatur pada proses sintesa < 60°C dengan waktu minimum 10 jam. Na-aluminosilikat yang terbentuk pada granular yang diaktivasi adalah bentuk amorf (Lee dkk., 2004).

Zeolit sintesa ZSM-5 ini merupakan zeolit dengan kadar Si sedang (rasio Si/Al = 1-3) (Riyanto, 1991).



Gambar 7. Difraktogram Katalis Cu/ZnO/Al₂O₃

Gambar 7 menampilkan spektrum XRD katalis sintesa Cu/ZnO/Al₂O₃. Dari pola difraksi XRD yang terbentuk tampak bahwa komponen katalis terdiri dari senyawa-senyawa Cu, CuO, ZnO, dan Al₂O₃. Puncak-puncak yang memiliki intensitas lebih tinggi merupakan karakteristik dari ZnO dan CuO. Sedangkan Cu juga terbentuk karena kemungkinan tidak semua membentuk oksida pada proses kalsinasi. Senyawa Al₂O₃ terlihat muncul menumpuk bersama CuO pada 2-teta 39,5 derajat. Dari pola difraksi Gambar 7 dapat disimpulkan bahwa proses preparasi katalis telah berhasil dengan baik.

Reaksi Hidrogenasi

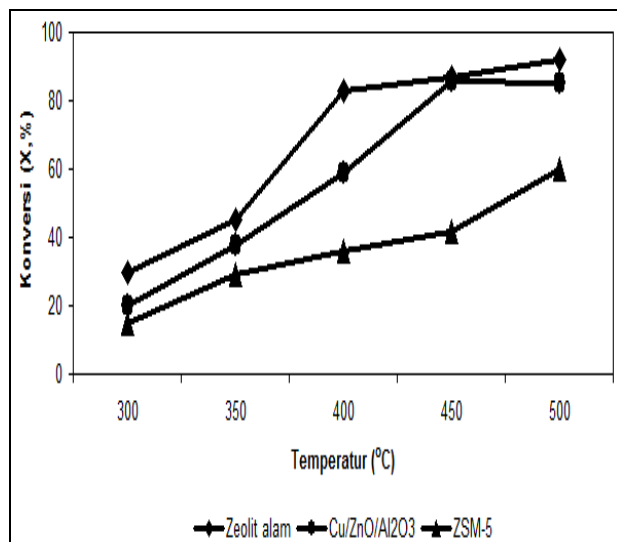
Reaksi dilangsungkan pada temperatur 300-500°C, waktu reaksi 2 jam dan jumlah pemakaian katalis 1 gr dengan memvariasikan jenis katalis yang digunakan. Reaksi

hidrogenasi dilakukan untuk menguji kinerja katalis yang ditinjau dari aktivitas katalis. Aktivitas katalis dinyatakan oleh konversi, selektivitas dan perolehan.

Konversi

Konversi adalah perbandingan mol CO₂ yang bereaksi dengan mol CO₂ yang masuk. Pengaruh temperatur terhadap konversi CO₂ dapat dilihat pada Gambar 8. Dari Gambar 8 tampak bahwa konversi CO₂ meningkat secara signifikan dengan peningkatan suhu reaksi. Hal ini karena pada suhu yang lebih tinggi menghasilkan energi yang lebih besar sehingga dapat mempercepat reaksi seperti yang dilaporkan oleh Arrhenius (Husin, 2005). Damayanti dan Mahfud (2000) juga melaporkan bahwa temperatur berpengaruh secara proporsional terhadap konversi CO₂. Penggunaan katalis zeolit alam menunjukkan

konversi yang lebih tinggi dibanding penggunaan katalis sintesa ZSM-5 dan Cu/ZnO/Al₂O₃.



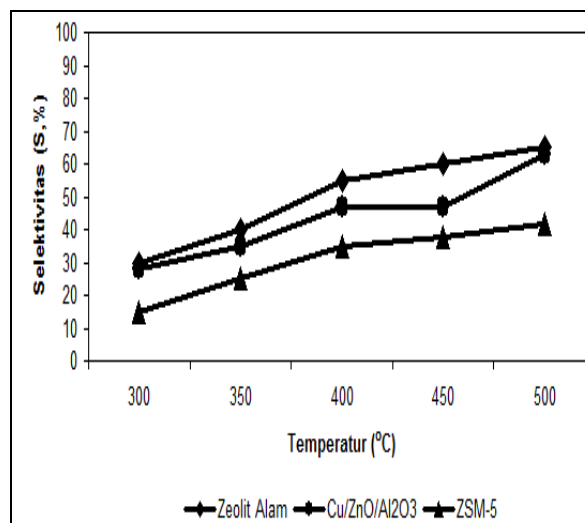
Gambar 8. Pengaruh Temperatur terhadap Konversi CO₂

Konversi CO₂ dari reaksi yang menggunakan katalis ZSM-5 tidak menunjukkan peningkatan yang sama terhadap temperatur dibandingkan kedua katalis lain. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh karena kestabilan dari katalis tersebut terhadap suhu tinggi yang dipengaruhi oleh kadar silika, di mana zeolit ini termasuk dalam kadar Si sedang dengan rasio Si/Al = 1-3. Rasio Si/Al tinggi akan meningkatkan kestabilan katalis terhadap suhu tinggi (Riyanto, 1991). Selain itu dari hasil karakterisasi XRD terhadap katalis sintesa ZSM-5 juga memperlihatkan bahwa proses kristalisasi katalis tersebut tidak berlangsung dengan sempurna, yang kemungkinan disebabkan karena waktu yang digunakan pada proses sintesa yang masih kurang. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Woo dkk. (2004), di mana waktu kristalisasi yang semakin lama akan menghasilkan persen kristalinitas yang tinggi. Waktu minimum yang dibutuhkan untuk proses kristalisasi adalah 10 jam (Lee dkk., 2004). Konversi CO₂ tertinggi dicapai pada penggunaan katalis zeolit alam adalah 92%, pada penggunaan katalis Cu/ZnO/Al₂O₃ adalah 85% dan pada penggunaan katalis sintesa

ZSM-5 adalah 60%. Kinerja katalis Cu/ZnO/Al₂O₃ dapat ditingkatkan dengan penambahan aditif seperti ZrO₂ seperti yang dilaporkan oleh Sari dan Nasikin (2000).

Selektivitas

Selektivitas adalah perbandingan mol metanol yang terbentuk dengan mol CO₂ yang bereaksi. Selektivitas dari suatu katalis sangat mempengaruhi produk suatu reaksi, karena dari suatu katalis yang digunakan atau dipilih pada suatu reaksi akan memberikan selektivitas produk yang berbeda-beda. Perbedaan ini disebabkan katalis memiliki komposisi dan kemampuan yang berbeda-beda, karena kinerja suatu katalis sangat tergantung dari karakteristik katalis itu sendiri (Richardson, 1989). Pengaruh temperatur terhadap selektivitas metanol dapat dilihat pada Gambar 9. Dari reaksi hidrogenasi, selain CH₃OH (metanol) juga ada kemungkinan terbentuk metana (CH₄) (Arakawa, 1992).



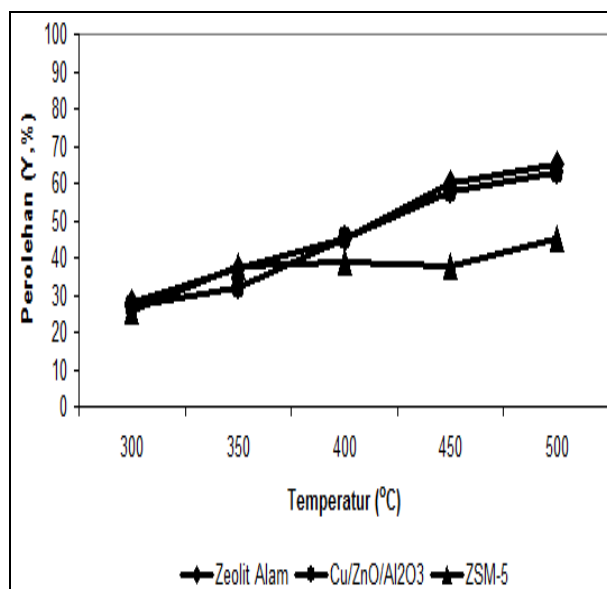
Gambar 9. Pengaruh Temperatur terhadap Selektivitas Metanol

Pengamatan selektivitas dalam percobaan ini adalah hanya terhadap pembentukan metanol sebagai produk utama yang diharapkan. Selektivitas metanol dari reaksi hidrogenasi CO₂ ini masih relatif rendah, yang kemungkinan disebabkan oleh rasio H₂/CO₂ yang digunakan kecil, yaitu 2. Hal ini sesuai dengan hasil yang dikemukakan oleh Gallucci dkk. (2004) yang melakukan reaksi

hidrogenasi CO₂ membentuk metanol dengan rasio H₂/CO₂ yang berbeda. Dari hasil penelitiannya menunjukkan bahwa dengan penggunaan 2 variasi rasio H₂/CO₂, rasio yang tinggi memberikan selektivitas yang lebih tinggi. Katalis zeolit alam memberikan selektivitas metanol lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan katalis sintesa ZSM-5 dan Cu/ZnO/Al₂O₃. Fakta ini mengilustrasikan bahwa zeolit alam merupakan katalis yang cukup selektif untuk digunakan pada hidrogenasi CO₂ menjadi metanol. Kinerja katalis zeolit sintesa ZSM-5 dapat ditingkatkan dengan meningkatkan nilai rasio Si/Al yang juga akan meningkatkan tingkat kestabilan dari katalis tersebut (Lee dkk., 2004). Kinerja katalis sintesa Cu/ZnO/Al₂O₃ dapat ditingkatkan dengan penambahan zat aditif seperti ZrO₂.

Perolehan

Perolehan adalah perbandingan mol metanol yang terbentuk dengan mol CO₂ yang masuk. Pengaruh temperatur terhadap perolehan metanol dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Pengaruh Temperatur terhadap Perolehan Metanol

Dari Gambar 10 dapat dilihat bahwa sama seperti pada selektivitas, metanol yang diperoleh masih relatif kecil. Hal ini

kemungkinan juga disebabkan oleh rasio H₂/CO₂ yang digunakan pada reaksi ini kecil. Perolehan tertinggi diperoleh sebesar 65% pada temperatur 500°C menggunakan katalis zeolit alam.

Dari ketiga gambar di atas dapat dilihat bahwa, walaupun konversi CO₂ tinggi tetapi selektivitas dan perolehan metanol masih relatif rendah. Hal ini disebabkan karena dari reaksi hidrogenasi CO₂ juga menghasilkan produk samping, yaitu metana (Arakawa, 1992). Dari hasil uji kinerja katalis ditunjukkan bahwa katalis zeolit alam memiliki nilai konversi, selektivitas dan perolehan yang lebih tinggi daripada katalis lainnya.

4. KESIMPULAN

Derajat konversi CO₂ tertinggi, yaitu sebesar 92%, dicapai pada penggunaan katalis zeolit alam dan temperatur reaksi 500°C. Selektivitas metanol tertinggi dicapai juga pada penggunaan katalis zeolit alam dengan temperatur reaksi 500°C, yaitu sebanyak 68%. Perolehan metanol tertinggi diperoleh pada penggunaan katalis zeolit alam dan temperatur reaksi 500°C, yaitu sebesar 65%.

Hasil uji XRD terhadap katalis zeolit alam menunjukkan bahwa hampir seluruh puncak karakteristik zeolit merupakan senyawa alumina dan silikon dan komponen katalis terdiri dari kristal SiO₂, AlO, Al₂O dan Al₂O₃. Dari hasil uji XRD terhadap katalis zeolit sintesa ZSM-5 ditunjukkan bahwa komponen katalis terdiri dari SiO₂, AlO dan Al₂O₃. Intensitas dari puncak-puncak karakteristik SiO₂ dan Al₂O₃ terlihat sangat rendah yang mengindikasikan bahwa persen kristalinitas dari zeolite sintesa yang terbentuk sangat rendah. Hasil uji XRD menunjukkan bahwa komponen katalis Cu/ZnO/Al₂O₃ terdiri dari kristal Cu, CuO, ZnO, dan Al₂O₃. Katalis zeolit alam menunjukkan aktivitas yang lebih tinggi dibandingkan katalis sintesa ZSM-5 dan Cu/ZnO/Al₂O₃.

DAFTAR PUSTAKA

- Arakawa, H. dan Sayama, K., (1992), Methanol Synthesis from CO₂ and H₂ over Supported Copper-Zinc Oxide Catalyst, Submitted to 10th International Congress on Catalyst, Budapest, Hungary.
- Damayanti, L. dan Mahfud, (2000), Sintesa Metanol dengan Katalis Zeolit Alam, Jurusan Teknik Kimia, ITS, Surabaya.
- Gallucci, F., Paturzo, L., dan Basile, A., (2004), An Experimental Study of CO₂ Hydrogenation into Methanol Involving a Zeolite Membrane Reactor, *Chemical Engineering and Proceedings*, 43, 1029-1036.
- Husin, H., (2005), Buku Ajar Kinetika dan Katalisa, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Syiah Kuala.
- Lee, J-S., Suh, J-K., Hong, J-S., Lee, C-H., dan Lee, J-M., (2004), Synthesis of Zeolite X/Activated Carbon Composites from Rice Hulls, *Journal Industrial and Engineering Chemical*. 10(4). 623-630.
- Richardson, J.I., (1989), Principles of Catalyst Development, New York.
- Riyanto, A., (1991), Bahan Galian Industri Zeolit, Departemen Pertambangan dan Energi, Pusat Pengembangan Teknologi Mineral.
- Sari, W. dan Nasikin, M., (2001). Pengaruh Aditif ZrO₂ terhadap Kinerja Katalis CuO/ZnO/Al₂O₃ Pada Reaksi Hidrogenasi CO₂ menjadi Metanol. *Jurnal Teknologi*. 15(1).
- Sembiring, N., (2004), Zeolite: Mineral Masa Depan?. Perspektif. *Teropong*. Edisi 16.
- Tanaka, Y., Utaka, T., Kikochi, R., and Sasaki K., (2003), CO Removal from Reformed Fuel Over Cu/ZnO/Al₂O₃ Catalysts Prepared by Impregnation and Coprecipitation Methods, *Applied Catal. A: Gen.* 238, 11-18.
- Woo, H-H., Hong, J-S., Suh, J-K., Lee, K-Y., and Lee, J-M., (2004), Synthesis and Characteristics of ZSM-5 Zeolite Prepared from Water Glass, *Journal Ind. Engineering Chemical*. 10(4).