



Pembuatan Katalis Cu/ZnO/Al₂O₃ untuk Proses Steam Reforming Metanol menjadi Hidrogen sebagai Bahan Bakar Alternatif

Husni Husin*, Yanna Syamsuddin

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Syech Abdurrauf No. 7, Darussalam, Banda Aceh, 23111

*E-mail: husni_husin2002@yahoo.com

Abstract

Study on the use of copper zinc oxide supported on alumina catalyst for steam reforming of methanol to hydrogen has been done. The aim of this work is to study the catalytic properties of copper based catalysts used in the steam reforming of methanol. This method is known as one of the most favorable catalytic processes for producing hydrogen on-board. The catalyst was prepared by impregnation method with Cu loading of 5%, 10%, and 15%. The X-ray diffraction pattern shows that the catalyst compositions are Cu, CuO, ZnO, and Al₂O₃. The reactions were carried out in the fixed bed tubular reactor operating at temperatures of 150°C, 200°C, 250°C, 300°C, and 350°C and atmospheric pressure. The product was analyzed using Shimadzu Gas Chromatography GC 8A with mole sieve 5A and porapak-N column 80/100 mesh. The performance of the catalyst shows that the highest methanol conversion was 86% over Cu/ZnO/Al₂O₃ catalyst with 15% of Cu loading. The selectivity and yield of hydrogen was 66% and 57% respectively over Cu/ZnO/Al₂O₃ catalyst with 15% of Cu loading. Selectivity of carbon dioxide is 18% over Cu/ZnO/Al₂O₃ catalyst with 15% of Cu loading at 300°C.

Keywords: alumina oxide catalyst, copper zinc oxide, hydrogen, impregnation

1. Pendahuluan

Belakangan ini harga minyak bumi dunia terus meningkat. Sebagai sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui maka cadangan minyak bumi kian menyusut, sehingga wajar saja kalau harganya terus meningkat. Sementara itu kebutuhan dunia akan minyak bumi terus meningkat setiap tahunnya. Salah satu faktanya adalah semakin banyaknya negara yang terjun dalam industri mobil.

Semakin berkurangnya cadangan minyak mentah di bumi, dan semakin tingginya tingkat pencemaran udara, menjadikan perusahaan-perusahaan mobil terkemuka dunia berlomba-lomba menurunkan tingkat konsumsi bahan bakar sambil terus mencari bahan bakar alternatif. Tuntutan untuk mencari bahan bakar alternatif yang bebas, atau paling tidak rendah tingkat pencemaran udaranya, juga didorong oleh semakin tingginya kesadaran untuk melestarikan alam. Hal ini ditandai dengan diberlakukannya sejumlah peraturan yang memperketat batas emisi, khususnya gas CO₂ yang diperbolehkan. Kendati pada saat ini tingkat pencemaran dari emisi mesin kendaraan bermotor sudah sangat jauh berkurang bila dibandingkan dengan 10 tahun lalu (Anonymous, 2002), tetapi dalam jangka panjang emisi bahan bakar minyak itu

tetap saja dianggap akan membahayakan.

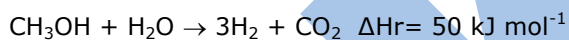
Upaya untuk mencari mobil yang tidak menggunakan mesin berbahan bakar minyak sudah dilakukan sejak lama, tetapi sampai saat ini belum ditemukan alternatif yang dianggap dapat menandingi mesin berbahan bakar minyak. Pencarian sumber energi baru pengganti minyak bumi semakin intensif dilakukan disebabkan melambungnya harga minyak bumi. Sebagian besar peneliti sepakat bahwa hidrogen adalah bahan bakar yang dipandang cocok menggantikan minyak bumi dan layak untuk dikembangkan karena memenuhi dua kriteria yaitu mampu mendorong teknologi ramah lingkungan juga banyak tersedia di alam (Anonymous, 2005).

Pengembangan hidrogen masih terkendala pada penanganan dan penyimpanannya pada transportasi, sehingga perhatian peneliti tertuju untuk menghasilkan listrik *on board* untuk transportasi. Metanol telah menjadi pilihan utama sebagai bahan baku binaan untuk hidrogen karena ketersediaannya dan rasio hidrogen:karbon yang tinggi. Listrik diproduksi melalui reaksi kimia dengan menggabungkan hidrogen dan oksigen membentuk air. Produknya bebas dari polusi. Keuntungan lain dari penggunaan hidrogen dalam *fuel cell* dibandingkan dengan sistem pembakaran mesin internal adalah dapat

memberikan efisiensi energi lebih tinggi, kebisingan rendah, tidak ada partikel jelaga yang dapat menyebabkan terganggu kesehatan manusia. Tipe *fuel cell* untuk diaplikasi pada *automobile* adalah *proton exchange membrane* (PEFC) *fuel cell*. Persediaan hidrogen *on-board* untuk kendaraan dapat dibagi ke dalam 3 kelompok yaitu: tangki tekanan tinggi dan hidrogen cair, menggunakan *metal-hydride* sebagai tangki, dan *reforming hydrocarbon*, seperti metanol, etanol, dimethylether, gasoline, diesel, dan lain-lain (Purnomo, 2003).

Metanol sebagai bahan kimia bawaan untuk hidrogen, disamping karena ketersediaannya yang dapat diperbaharui, memiliki energi dan densitas tinggi, serta mudah disimpan dan transportasi. Metanol merupakan senyawa alkohol yang memiliki harga paling murah dibanding alkohol yang lainnya seperti etanol dan butanol (Lwin dkk., 2000).

Steam reforming methanol (SRM) dikenal sebagai kebalikan dari reaksi sintesa metanol.

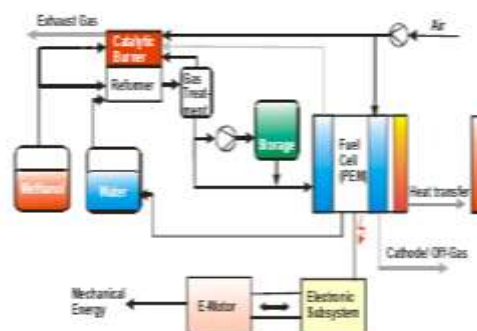


SRM dikembangkan untuk proses yang sangat menguntungkan dari produksi hidrogen dibanding dekomposisi dan oksidasi parsial metanol. Hal ini disebabkan karena kemampuan produksi konsentrasi gas hidrogen mencapai 75%. SRM adalah sebuah reaksi endotermik. Energi yang diperlukan untuk reaksi disuplai dari alat katalitik burner. Karena keunggulan proses ini antara lain konversi metanol tinggi, konsentrasi hidrogen tinggi dan kondisi reaksi sedang (Purnomo, 2003).

Kondisi reaksi umum dari SRM adalah sebagai berikut: temperatur reaksi: 250-350°C, tekanan: 1 atm, dan rasio molar metanol : air adalah 1:1 sampai 1:1,3. Produk utama SRM adalah hidrogen, karbon dioksida dan sedikit karbon monoksida (sampai 2% volume dalam aliran produk kering jika digunakan katalis tembaga) (Purnomo, 2003).

Produksi hidrogen via SRM untuk sistem kendaraan *fuel cell* terdiri dari alat utama berikut: sebuah *methanol steam reformer*, sebuah *catalytic burner* yang membagi panas untuk reformer dan mengkonversi seluruh gas-gas pembakaran dalam gas bakar menjadi air dan karbon dioksida, sebuah unit pemurnian gas untuk menurunkan konsentrasi CO dalam produk yang kaya

hidrogen untuk diumpankan ke *Proton Exchange Fuel Cell* (PEFC). Tangki gas juga terintegrasi dalam *fuel cell system* agar mengalirkan *fuel cell* selama fase start-up dan speed-up. Skematik kerja *fuel cell system* didasarkan SRM ditampilkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Skematik *fuel cell drive system*.

Penyelidikan tentang gas hidrogen sebagai energi alternatif via *steam reforming* metanol banyak menarik minat peneliti di dunia dewasa ini. Penelitian yang dilakukan terutama untuk mendapatkan katalis yang dapat mengkonversi metanol dan selektivitas hidrogen yang tinggi serta berharga murah. Penyelidikan lebih lanjut tertuju pada pengaturan rasio logam aktif penyusun katalis dan rasio steam/carbon dari reaktan metanol, serta mengevaluasi kestabilan katalis (Jung dan Joo, 2002).

Secara termodinamika reaksi *steam reforming* metanol telah dipelajari oleh Amphlett dkk (1988). Hasil evaluasi dilaporkan bahwa reaksi ini sangat memungkinkan (*feasible*) untuk dilangsungkan pada rentang temperatur yang jauh. Hasil analisis dilaporkan bahwa komponen-komponen yang berada pada kesetimbangan yaitu: CH_3OH , H_2O , CO , CO_2 dan H_2 (Agrell dkk., 2001).

Pada tingkat hasil yang telah dicapai saat ini, pengkonversian metanol menjadi hidrogen telah memberikan hasil yang menjanjikan. Namun, penelitian lanjutan masih perlu dilakukan untuk mendapatkan rasio logam aktif dengan logam paduan yang menghasilkan katalis yang memiliki keaktifan dan stabilitas yang tinggi. Katalis-katalis *cracking process* yaitu: Pd, Pt, Rh, Ru, Ir, Re, Ni, W, Cu, sangat aktif dan selektif digunakan dalam reaksi *steam reforming methanol*. Logam-logam ini dipadukan dengan ZnO dan

penyangga $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ untuk memperoleh keaktifan yang lebih tinggi.

Namun, Pd, Pt, Rh, Ru, Ir, Re, Ni, dan W merupakan metal yang mahal sehingga penggunaan dalam skala komersial kurang menguntungkan. Pengaruh dari rasio logam-logam tersebut terhadap selektivitas juga belum banyak dipelajari (Amphlett dkk., 1988; Agrell dkk., 2001).

Para peneliti pada umumnya menyarankan agar menggunakan Cu sebagai logam aktif. Permasalahan yang terpantau dari penggunaan Cu adalah bahwa Cu mudah terdeaktivasi pada suhu tinggi. Jika ini terjadi maka ketika digunakan dalam reaksi akan terbentuk produk samping yang tidak diinginkan.

Sedangkan penggunaan logam lain seperti Pd harganya sangat mahal sehingga kurang ekonomis. Padahal diharapkan katalis yang dikembangkan selain murah, mudah diperoleh, memiliki stabilitas tinggi, dan juga dapat memproduksi hidrogen setinggi-tingginya dan menekan produk samping yang tidak diinginkan.

Persoalan ini dapat dipecahkan dengan memodifikasi kadar Cu dengan ZnO serta menggunakan penyangga seperti Al_2O_3 . Jung dan Joo (2002) menyarankan agar Cu dan ZnO diberikan dalam jumlah yang proporsional sehingga dapat memberikan konversi metanol dan selektivitas hidrogen yang memuaskan. Selain itu, perlu diatur rasio steam/metanol dalam umpan untuk mendapatkan produk yang maksimum (Amphlett dkk., 1988).

Penggunaan Al_2O_3 selain dapat menebarkan fasa aktif juga berfungsi sebagai *wash-coating* ketika katalis digunakan pada suhu tinggi untuk transportasi. Dengan demikian dapat diyakini bahwa katalis Cu/ZnO/ Al_2O_3 akan menjadi katalis *steam reforming* metanol untuk memproduksi hidrogen sebagai energi alternatif masa depan.

2. Metodologi

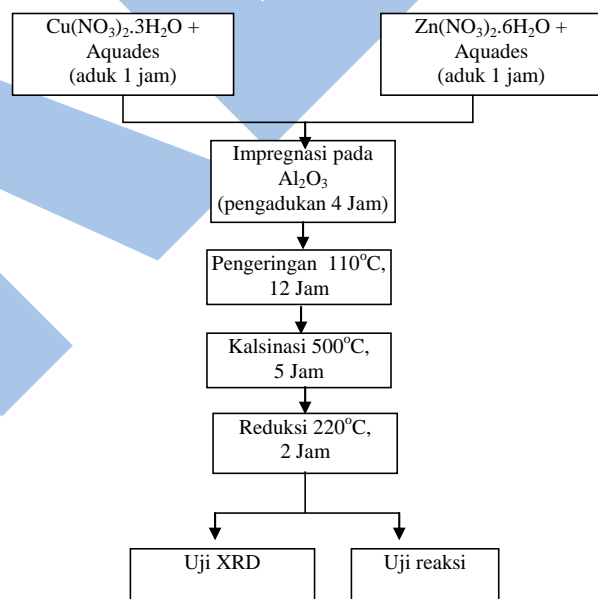
2.1 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah: Cu (NO_3). $3\text{H}_2\text{O}$ (Merck KGaA, 99.99%), (Merck KGaA, 99.99%), Zn(NO_3). $2.6\text{H}_2\text{O}$ (Merck KGaA, 99.99%), $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (Merck KGaA, 99.99%), gas hidrogen (99.99%), nitrogen (99.99%), oksigen (99.99%), metanol (99.99%), dan H_2O .

Alat-alat yang digunakan adalah: reaktor pipa terbuat dari *quart glass*, *tube furnace* (*Thermolyne 21100 tube furnace AC input 240 V*), termokopel tipe-K, *bubble soap flow meter*, condenser terbuat dari *pyrex*, *Hamilton gas syringe*, *gas mixer*, *stopwatch*, *Shimadzu Gas Chromatography GC 8A*.

2.2 Preparasi Katalis

Katalis yang akan disiapkan adalah tembaga zink oksida berpenyangga alumina. Garam Cu(NO_3). $2.3\text{H}_2\text{O}$ 1%, 5%, 10% dan 15% berat Cu, Zn (NO_3). $2.6\text{H}_2\text{O}$ sebanyak 1,12 gram dan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 4,48 gram. Garam Cu dan Zn masing-masing dilarutkan dalam air, kemudian diaduk selama 1 jam. Selanjutnya campuran diimpregnasi ke penyangga $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan cara diaduk selama 4 jam dalam suatu beaker gelas menggunakan *magnetic stirrer* pada temperatur ruang. Diagram alir proses pembuatan katalis dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir proses pembuatan katalis.

Hasil impregnasi dikeringkan dalam oven pada temperatur 110°C selama 12 jam. Tujuan pengeringan adalah untuk mengurangi kadar air dan mengkristalkan garam pada permukaan pori-pori. Hasil pengeringan dikalsinasi dalam reaktor pada temperatur 500°C selama 5 jam dengan dialirkan udara dengan laju 25 ml/menit. Kalsinasi adalah pemanasan melebihi pengeringan. Kalsinasi bertujuan untuk mengubah garam yang telah terkristalisasi menjadi suatu oksida atau logam atau menjadi suatu bentuk kristal yang lebih stabil. Selanjutnya direduksi dengan menggunakan 20% $\text{H}_2\text{-N}_2$ selama 2 jam pada suhu 220°C untuk mendapatkan

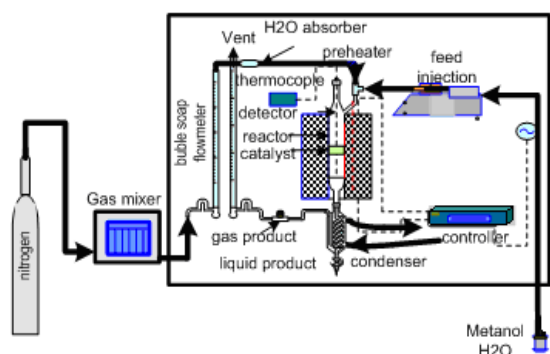
luas permukaan yang baik (Tanaka dkk., 2003).

2.3 Karakterisasi Katalis

Fasa kristal dari katalis diidentifikasi dengan XRD (*X-ray Diffractometer*). Grafik XRD yang akan diperoleh untuk nilai 2θ dengan ukuran Scanning Step 0.05° . Grafik XRD sampel dapat dibaca dengan membandingkan nilai d dari masing-masing peak sample dengan nilai d XRD senyawa standar. Analisa XRD dilakukan di laboratorium XRD Jurusan Kimia UGM.

2.4 Reaksi Uji Kinerja Katalis

Uji kinerja katalis bertujuan untuk mengetahui aktivitas dari katalis tersebut. Aktivitas katalis dapat dilihat dari konversi reaktan dan selektivitas produk. Reaksi *steam reforming* metanol dilangsungkan dalam reaktor pipa lurus berunggun tetap (*fixed bed tubular reactor*) dengan diameter 10 mm. Katalis sebanyak 0.3 gram di pasang sebagai unggun tetap (*fixed bed*). Umpan (metanol + air) dengan perbandingan 1:1 dialirkan laju alir konstan 1 ml/jam, dengan variasi temperatur (150, 200, 250, 300 dan 350°C) dan tekanan atmosfer. Skematik reaktor *steam reforming* methanol dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Panel reaktor *steam-reforming methanol*.

Untuk mencapai temperatur operasi tersebut rangkaian alat dilengkapi dengan *furnace* yang dihubungkan dengan pengendali temperatur untuk menjaga suhu konstan. Produk yang dihasilkan dari reaksi ini selanjutnya didinginkan dalam kondensor sehingga diperoleh dua fasa produk, yaitu produk gas dan produk cair. Produk cair ditampung pada bagian bawah kondensor. Produk gas dialirkan melalui *bubble soap flowmeter* sehingga laju alirnya dapat diukur.

2.5 Analisis Produk

Hasil keluaran reaktor dianalisa dengan menggunakan *Gas Chromatograph GC-8A* (Shimadzu) untuk mendeteksi dan menentukan fraksi mol produk. Analisis ini menggunakan detektor jenis TCD (*Thermal Conductivity Detector*) dengan kolom Porapak Q dan mole sieve 5A. Luas puncak dihitung dengan alat *cromatopac C-R1B*. Analisis produk dilakukan pada temperatur kolom 100°C dan temperatur injektor 130°C untuk produk cair dan 80 dan 110°C untuk gas. Kromatografi dikalibrasi dengan larutan standar yang telah diketahui komposisinya.

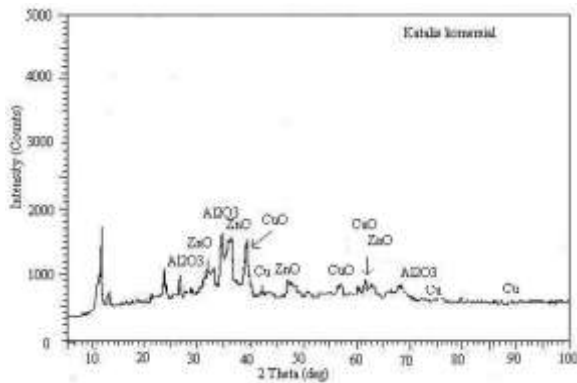
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Karakterisasi dengan XRD

Karakterisasi katalis bertujuan untuk mengidentifikasi komponen yang terkandung dalam katalis. Karakterisasi dilakukan terhadap katalis $\text{Cu/ZnO/Al}_2\text{O}_3$ dengan bahan dasar penyusun adalah Cu (tembaga), ZnO (zink oksida) dan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (gamma alumina). Katalis ini digunakan dalam reaksi *steam reforming* metanol menghasilkan gas hidrogen (H_2) sebagai bahan bakar alternatif. Pembuatan katalis dibedakan dengan memvariasikan konsentrasi Cu (tembaga) yaitu 1%, 5%, 10% dan 15%. Senyawa ZnO (zink oksida) sebagai promotor sebanyak 1,12 gram dan alumina sebagai penyangga sebanyak 4,48 gram. Pembuatan katalis $\text{Cu/ZnO/Al}_2\text{O}_3$ dilakukan dengan metode impregnasi, dimana perubahan konsentrasi utama Cu (tembaga) menyebabkan perubahan bahan penyusun katalis yang lain. Hasil karakterisasi katalis dengan XRD dapat dilihat pada Gambar 4 - 7.

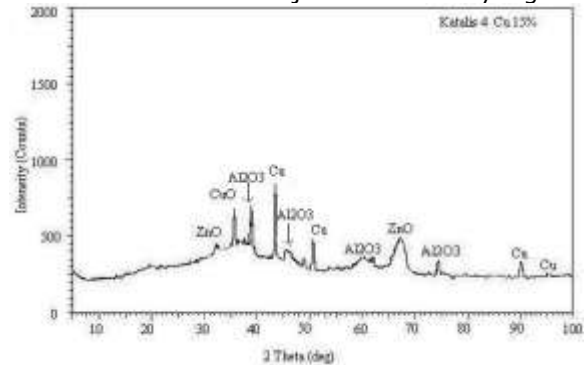
Gambar 4 - 7 adalah spektrum XRD katalis $\text{Cu/ZnO/Al}_2\text{O}_3$ komersial, sintesa dengan *loading* Cu 5%, 10%, dan 15%. Dari difraktogram semua katalis tampak bahwa komponen katalis terdiri dari senyawa-senyawa berikut: Cu, CuO, ZnO, dan Al_2O_3 . Katalis yang mengandung 1% Cu berbentuk amorf, tidak menghasilkan kristal yang ditunjukkan dari difraktogram XRD tidak menghasilkan puncak-puncak apapun.

Tiga puncak utama karakteristik Cu terdapat pada $2\theta = 43,7^\circ$; dan $2\theta = 50^\circ$, dan $2\theta = 75^\circ$ derajat, sedangkan puncak utama karakteristik ZnO terdapat pada $2\theta = 33,2^\circ$ dan $2\theta = 68^\circ$ derajat. Puncak karakteristik Al_2O_3 terletak pada $2\theta = 38,2^\circ$ dan $2\theta = 46,2^\circ$. Intensitas puncak Cu tertinggi terdapat pada katalis dengan *loading* Cu 10% dan 15%, yaitu sekitar 850 counts.

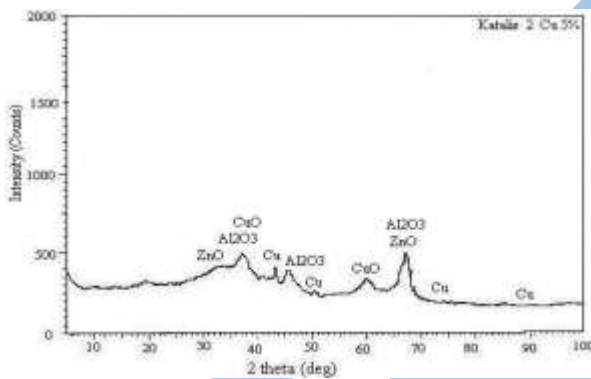


Gambar 4. Grafik difraktogram katalis Cu/ZnO/Al₂O₃ komersial.

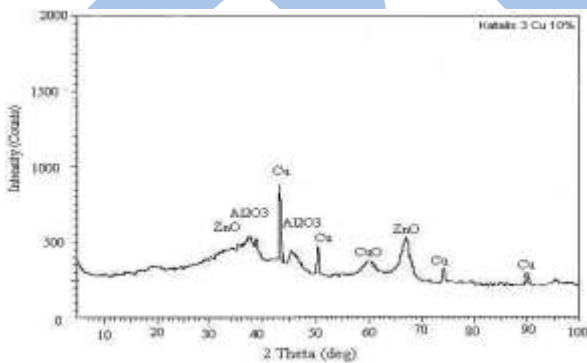
Fenomena ini menunjukkan bahwa katalis komersial memiliki derajat kristalinitas yang



Gambar 7. Grafik difraktogram katalis Cu/ZnO/Al₂O₃ (15% berat Cu).



Gambar 5. Grafik difraktogram katalis Cu/ZnO/Al₂O₃ (5% berat Cu).



Gambar 6. Grafik difraktogram katalis Cu/ZnO/Al₂O₃ (10% berat Cu).

Dari spektrum XRD katalis Cu/ZnO/Al₂O₃ dengan prosentase Cu 5%, 10%, dan 15% tampak bahwa katalis dengan loading Cu 5% memiliki intensitas yang lebih rendah yaitu paling tinggi sekitar 500 counts. Membandingkan antara spektrum XRD katalis sintesis dengan katalis komersial tampak bahwa intensitas puncak katalis sintesis lebih rendah dibandingkan katalis komersial.

lebih tinggi dari katalis sintesis, terbukti dari intensitas puncak-puncak karakteristik Cu pada difraktogram XRD katalis komersial lebih sempit dan tinggi. Intensitas komponen-komponen katalis sintesis dengan kandungan Cu 10% dan 15% memiliki intensitas yang hampir sama dengan katalis komersial. Pada katalis dengan kandungan Cu 30% dan 35% tidak terjadi peningkatan intensitas Cu yang berbeda nyata.

3.2 Kinerja Katalis

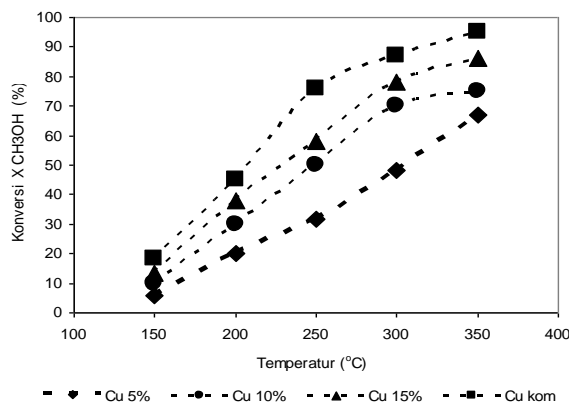
Kinerja katalis secara kuantitatif ditinjau dari aktivitas katalis. Aktivitas dinyatakan oleh konversi, selektivitas dan *yield* (perolehan). Pengujian kinerja katalis dilakukan melalui reaksi *steam reforming methanol* menjadi hidrogen. Reaksi dilangsungkan pada temperatur 150, 200, 250, 300, dan 350°C. Aktivitas berbagai katalis ditampilkan pada Gambar 8 - 10.

a. Konversi

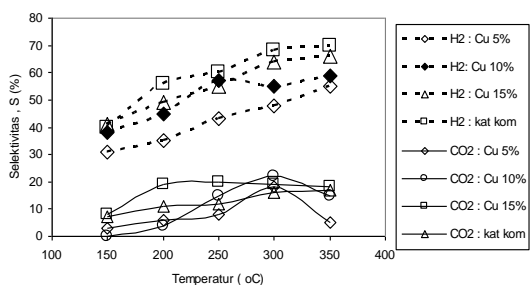
Hasil perhitungan konversi metanol untuk penggunaan berbagai katalis ditampilkan pada Gambar 8. Dari Gambar 8. Tampak bahwa konversi metanol meningkat secara signifikan dengan peningkatan suhu reaksi. Suhu yang lebih tinggi juga menunjukkan konversi semakin meningkat. Hal ini karena pada suhu yang lebih tinggi menghasilkan energi yang lebih besar sehingga dapat mempercepat reaksi.

Kenaikan konversi ini sesuai dengan hukum Arrhenius yang menyatakan bahwa semakin tinggi temperatur maka laju reaksi semakin tinggi. Sebagai contoh pada penggunaan katalis dengan konsentrasi Cu 15% pada temperatur 150, 200, 250, dan 300°C secara berurutan memberikan konversi metanol

13%, 58%, 78%, dan 86%. Fenomena ini juga sesuai dengan yang dilaporkan oleh Purnomo (2003) dimana makin tinggi temperatur, konversi metanol yang dihasilkan meningkat secara tajam.



Gambar 8. Hubungan temperatur terhadap konversi metanol.



Gambar 9. Hubungan temperatur terhadap konversi metanol.

Dari Gambar 8 juga dapat dilihat pengaruh kandungan Cu dalam katalis berbanding lurus dengan banyaknya loading Cu. Konversi katalis komersial lebih tinggi dari katalis sintesa yaitu 95% pada suhu 350°C. Membandingkan konversi yang dihasilkan katalis komersial dengan konversi katalis sintesa dapat disimpulkan bahwa katalis sintesa telah memberikan kinerja yang baik, akan tetapi, belum sama dengan katalis komersial.

b. Selektivitas

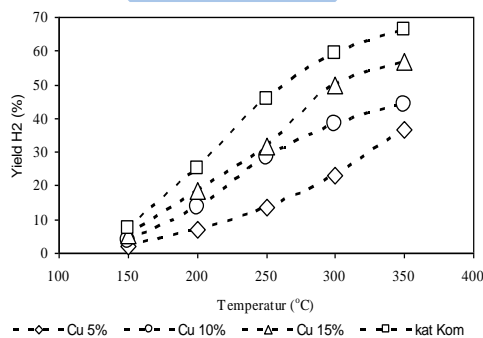
Gambar 9 merupakan hubungan antara suhu terhadap selektivitas hidrogen dan karbon-dioksida. Dari Gambar 9 tampak bahwa kenaikan suhu reaksi menyebabkan peningkatan selektivitas hidrogen. Selektivitas hidrogen lebih tinggi pada suhu yang lebih tinggi. Selektivitas hidrogen pada penggunaan katalis dengan kandungan Cu 5% pada suhu 150 s/d 350°C berturut-turut 31%,

35%, 43%, 48%, dan 55%. Katalis dengan kandungan Cu 15% memiliki selektivitas hidrogen lebih tinggi.

Selektivitas hidrogen meningkat seiring dengan meningkatnya suhu reaksi. Selektivitas CO₂ tampak tidak beraturan, hasilnya tidak memberikan kecerderungan yang sama dengan selektivitas hidrogen. Selektivitas CO₂ tertinggi adalah 20%. Selektivitas karbon-dioksida tidak stabil, sebagian tampak menurun dan ada juga terjadi peningkatan. Selektivitas CO₂ terlihat stabil pada penggunaan katalis dengan kandungan Cu 5%.

c. Yield

Gambar 10 merupakan hubungan antara temperatur terhadap yield hidrogen. Dari Gambar 10 tampak bahwa yield cenderung meningkat dengan kenaikan suhu reaksi. Yield hidrogen tampak lebih tinggi pada suhu dan kandungan Cu dalam katalis yang lebih tinggi.



Gambar 10. Hubungan temperatur terhadap konversi metanol.

Yield hidrogen pada penggunaan katalis dengan kandungan Cu 5% pada suhu 150 s/d 350°C berturut-turut 5%, 19%, 32%, 50%, dan 57%. Katalis dengan kandungan Cu 15% memiliki yield hidrogen tertinggi yaitu mencapai 57%. Fakta ini menunjukkan bahwa Cu sebagai komponen utama atau pusat aktif pada katalis Cu/ZnO/Al₂O₃ memiliki peranan penting terhadap keaktifan katalis yang dinilai melalui kinerja dalam bentuk yield produk. Katalis sintesis dengan kandungan Cu 15% terlihat lebih aktif, karena memiliki komponen aktif yang lebih tinggi, sehingga kontak antara komponen aktif dengan reaktan lebih sempurna. Yield hidrogen menggunakan katalis komersial mencapai 67%. Hal ini karena fakta bahwa katalis komersial memiliki derajat kristallinitiy yang lebih tinggi seperti yang ditunjukkan pada difraktogram XRD Gambar 4.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pengolahan data yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan:

1. Hasil analisa XRD menunjukkan bahwa komponen katalis Cu/ZnO/Al₂O₃ terdiri dari kristal: Cu, CuO, ZnO, dan γ -Al₂O₃.
2. Derajat konversi metanol tertinggi, yaitu 86% dicapai pada penggunaan katalis dengan konsentrasi Cu 15% dan temperatur reaksi 350°C, sedangkan derajat konversi katalis komersial mencapai 95%.
3. Selektivitas H₂ tertinggi dicapai 66% pada penggunaan katalis dengan konsentrasi Cu 15% dan temperatur reaksi 350°C.
4. Selektivitas H₂ tertinggi menggunakan katalis komersial mencapai 70%.
5. Selektivitas CO₂ tertinggi diperoleh 18 % pada penggunaan katalis dengan konsentrasi Cu 15% dan temperatur reaksi 350°C.
6. Yield H₂ tertinggi diperoleh 57%, sedangkan katalis komersial 68%.
7. Katalis yang baik untuk memproduksi hidrogen dalam batasan penelitian ini adalah yang memiliki kandungan Cu 15%.
8. Kinerja katalis sintesis belum menyamai kinerja katalis komersial.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DIKTI yang berkenan mendanai penelitian ini melalui project Penelitian Dosen Muda, Universitas Syiah Kuala yang menyediakan fasilitas laboratorium, dan semua pihak yang telah membantu.

Daftar Pustaka

- Agrell, J., Hasselbo, K., Jansson, Jaras, K. S. G., Boutonnet, M. (2001) Production of hydrogen by partial oxidation of methanol Over Cu/ZnO catalysts prepared by microemulsion technique, *Applied Catalysis*, 211, 239-250.
- Amphlett, J. C., Evans, M. J., Jones, R. A., Man, R. F., Weir R. D. (1981) Hydrogen production by the catalytic steam reforming of methanol, Part 1: Thermodynamics", *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 59, 725-727.
- Amphlett, J. C., Man, R. F., Weir R. D. (1988) Hydrogen production by the catalytic steam reforming of methanol, Part 3: Kinetic of methanol decomposition using C18HC catalyst", *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 66, 950-727.
- Anonimus (2002) Hidrogen, bahan bakar alternatif terbaru, *Kompas*, 12 Januari 2002, diakses tanggal 25 Agustus 2006.
- Anonimus (2004) Energi ramah lingkungan, *Harian Umum Republik*, Edisi Online, 3 November 1994, <http://www.yahoo.com>, diakses 5 November 2004.
- Jung K. D., Joo, O. S. (2002) Support effect of copper containing catalysts on methanol dehydrogenation, *Korean Chemical Society*, 23, 1135.
- Purnomo, H. (2003) Catalytic study of copper based catalysts for steam reforming of methanol, *Thesis*, Mathematik und Naturwissenschaftender Technischen Universit Berlin.
- Ye, L., Daud, W. R., Mohammad A. B., Yaakob, Z. (2000) Hydrogen production from steam-methanol reforming: thermodynamics analysis, *International Journal of Hydrogen Energy*, 25, 47-53.
- Tanaka, Y., Utaka, T., Kikochi, R., Sasaki, K., Eguchi, K. (2003) CO Removal from reformead fuel over Cu/ZnO/Al₂O₃ catalysts prepared by impregnation and coprecipitation method, *Applied Catalysis A: General*, 238, 11-18.