

SINTESIS DIMETIL ETER MENGGUNAKAN KATALIS $\text{Cu-Zn}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ DALAM REAKTOR *FIXED BED*

Heri Hermansyah^{*)}, Slamet, Siti Fauziah Rahman, Witta Kartika Restu

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

Kampus Baru UI, Depok 16424, telp. 021-7863156

Abstrak

DME dapat digunakan sebagai bahan bakar yang bebas dari sulfur untuk mesin disel tanpa pembentukan partikulat dan rendah emisi NO_x jika dibandingkan dengan minyak dan gas. DME juga memiliki sifat yang sama dengan propana dan butana, senyawa pembentuk LPG, sehingga DME dapat didistribusikan dan disimpan menggunakan teknologi penanganan LPG. DME dapat digunakan sebagai pengganti LPG. Dimetil eter (DME) diproduksi secara langsung dari gas sintesis dalam reaktor fixed bed. Pada penelitian ini, $\text{Cu-Zn}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ digunakan sebagai katalis bifungsi sintesis langsung dimetil eter. Pada tahap preparasi, katalis divariasikan terhadap pH dan komposisi pada metode ko-presipitasi sedimentasi, kemudian hasil terbaik dari katalis ini dilakukan perbandingan dengan katalis metode sol-gel impregnasi. Katalis ini dikarakterisasi BET, XRF, dan XRD. Uji aktivitas katalis dilakukan pada kondisi operasi tekanan 20 bar dan suhu 220°C. Hasil uji aktivitas katalis terbaik menunjukkan konversi CO sebesar 70%, selektivitas dimetil eter sebesar 80%, dan yield dimetil eter sebesar 54%, yaitu pada katalis dengan metode sol-gel impregnasi yang memiliki komposisi 40:27:33.

Kata Kunci: $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$; dimetil eter; kopresipitasi-sedimentasi; sol gel-impregnasi.

1. Pendahuluan

Salah satu bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan adalah dimetil eter (DME). DME dapat digunakan sebagai bahan bakar yang bebas dari sulfur untuk mesin disel tanpa pembentukan partikulat dan rendah emisi NO_x jika dibandingkan dengan minyak dan gas. DME juga memiliki sifat yang sama dengan propana dan butana, senyawa pembentuk LPG, sehingga DME dapat didistribusikan dan disimpan menggunakan teknologi penanganan LPG dan DME dapat digunakan sebagai pengganti LPG. DME juga dapat digunakan sebagai *aerosol propellant* untuk menggantikan *chloroflouro carbon*, yang diketahui dapat merusak lapisan ozon di atmosfer. DME juga merupakan bahan kimia intermediet yang penting dalam produksi bahan kimia seperti etilen, dimetil sulfat, dan metal asetat (G. R Moradi, 2006).

Terdapat dua macam katalis yang digunakan untuk proses sintesis langsung dimetil eter. Tipe pertama, disebut sistem katalis hibrida, yang mengandung campuran fisika dari katalis sintesis metanol dan katalis dehidrasi metanol. Katalis sintesis metanol secara umum katalis komersial $\text{Cu/Zn/Al}_2\text{O}_3$ (atau Cr_2O_3), dan katalis dehidrasi metanol yang secara umum dipilih dari material padatan asam, yang meliputi γ -alumina, silika-alumina, dan zeolit. Sedangkan tipe katalis yang kedua untuk sintesis langsung dimetil eter adalah katalis yang memiliki dua fungsi, dibentuk menjadi satu katalis. Katalis ini didapatkan dengan mengendapkan katalis sintesis metanol dan katalis dehidrasi metanol secara bersamaan untuk membentuk satu katalis, atau dengan impregnasi komponen katalis sintesis metanol ke dalam material padatan asam (Sung-Hwan Ahn, 2007).

Pada katalis sintesis metanol $\text{Cu-ZnO-Al}_2\text{O}_3$ dan dehidrasi metanol $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, komposisi katalis sintesis metanol dibanding katalis dehidrasi metanol terbaik adalah komposisi 2:1 karena aktivitas dan selektivitas dari dimetil eter memiliki nilai yang lebih tinggi (A. Hadipour, 2007) sehingga pada penelitian ini dilakukan variasi komposisi katalis sintesis metanol, namun variasi perbandingan katalis sintesis metanol dan dehidrasi metanol menggunakan komposisi 2:1. Konversi karbon monoksida dalam sintesis langsung dimetil eter dengan menggunakan katalis tidak bergantung kepada laju dehidrasi metanol. Aktivitas katalis pada sintesis dimetil eter dikendalikan oleh laju sintesis metanol (Kye Sang Yoo, 2007). Walaupun selektivitas dari dimetil eter bergantung kepada sisi asam dari katalis dehidrasi metanol (Dongsen Mao, 2006).

Metode yang digunakan dalam preparasi katalis mempengaruhi hasil aktivitas dari katalis. Dua metode dari preparasi katalis yang menunjukkan hasil yang baik dari segi konversi karbon monoksida dan selektivitas dari dimetil eter adalah metode ko-presipitasi sedimentasi dan sol gel impregnasi (G. R Moradi, 2006). Pada

^{*)} E-mail: heri@chemeng.ui.ac.id

preparasi katalis dengan metode presipitasi, salah satu hal yang mempengaruhi adalah variasi pH. Deviasi dari nilai pH optimum akan mempengaruhi komposisi, ukuran partikel, dan sifat fisika dari katalis (Martyn V. Twigg, 1989).

Pada penelitian ini, katalis yang digunakan akan dilakukan variasi terhadap komposisi, pH, dan selanjutnya katalis dengan metode ko-presipitasi sedimentasi dan sol-gel impregnasi akan dibandingkan hasil uji aktivitasnya.

2. Bahan dan Metode Penelitian

Pada sintesis langsung dimetil eter, dilakukan beberapa tahapan percobaan, antara lain adalah preparasi, karakterisasi, dan uji aktivitas katalis.

2.1 Preparasi Katalis

Preparasi katalis yang digunakan adalah metode ko-presipitasi sedimentasi dan sol-gel impregnasi.

2.1.1 Ko-presipitasi Sedimentasi

Larutan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dengan total konsentrasi 1 M dan Na_2CO_3 1 M diteteskan secara simultan ke dalam *beaker glass* yang mengandung air demin selama 30 menit, pada pH yang tetap dan suhu 50°C (323K) dengan menggunakan *magnetic stirrer*. Setelah itu, campuran larutan tersebut didiamkan selama 2 jam pada suhu yang sama, sehingga menghasilkan endapan, kemudian disaring dan dicuci dengan air panas ($T=353\text{K}$). Kemudian ditambahkan ke dalam suspensi $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Campuran kemudian diaduk, disaring, dan dikeringkan pada suhu 80°C (353K) selama 12 jam. Kemudian dikalsinasi 500°C (673 K) selama 6 jam. Temperatur naik ke 500°C dari suhu lingkungan dengan perlahan $5^\circ\text{C}/\text{menit}$.

2.1.2 Sol-gel Impregnasi

Campuran larutan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dengan total konsentrasi 1 molar dalam etanol ditambahkan ke dalam sejumlah $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Kemudian satu molal asam oksalat dalam etanol diteteskan ke dalam larutan campuran Cu/Zn dan menghasilkan endapan campuran garam oksalat pada suhu 0°C . Campuran tersebut kemudian di evaporasi pada suhu 70°C sehingga menghasilkan gel. Kemudian gel yang dihasilkan dikeringkan pada suhu 80°C selama 12 jam dan dikalsinasi dalam udara pada suhu 500°C (673K) selama 6 jam.

2.2 Karakterisasi Katalis

Karakterisasi katalis yang digunakan adalah karakterisasi BET Autosorb untuk mengetahui luas permukaan yang dihasilkan, karakterisasi XRD untuk mengetahui tingkat kristalinitas dan ukuran partikel katalis. Selain itu, untuk mengetahui komposisi katalis digunakan karakterisasi XRF.

2.3 Uji Aktivitas Katalis

Uji aktivitas katalis dilakukan dengan menggunakan reaktor *fixed bed* bertekanan tinggi. Untuk sintesis dimetil eter, katalis direduksi dengan menggunakan gas hidrogen pada suhu 220°C dan tekanan 20 bar. Setelah reduksi, gas sintesis dengan perbandingan $\text{CO}:\text{H}_2$ sebesar 1:2 masuk ke dalam reaktor dengan kondisi suhu 220°C dan tekanan 20 bar. Gas keluaran reaktor, dianalisis menggunakan *Gas Chromatography TCD* dengan kolom Porapak Q.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakterisasi Katalis

Dari Tabel 1. dapat diketahui komposisi yang terbentuk pada katalis Cu-Zn/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan variasi pH dan komposisi yang dilakukan pada metode ko-presipitasi sedimentasi dan dilakukan perbandingan dengan metode sol-gel impregnasi. Pada metode sol-gel impregnasi, $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ yang terkandung di dalam katalis kurang terimpregnasi secara sempurna sehingga kandungan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ yang terdapat dalam katalis cukup kecil. Untuk % berat dari senyawa CuO dan ZnO yang terkandung dalam katalis, keduanya memiliki % berat yang hampir sama dengan berat teoritis.

Untuk variasi pH yang dilakukan, jika dibandingkan ketiganya (pH 6, 7, dan 8), maka komposisi Cu:Zn yang terdapat dalam katalis hampir sama dengan komposisi teoritis. Maka dalam hal ini, pH tidak terlalu berpengaruh dalam pengendapan logam.

Struktur XRD yang dihasilkan dari katalis dapat dilihat pada gambar 1 dan 2. Struktur XRD menunjukkan tingkat kristalinitas yang tinggi baik dengan metode ko-presipitasi sedimentasi maupun sol-gel impregnasi. Dari gambar 1 dan 2 dapat dilihat bahwa peak ZnO terdapat pada $32^\circ < 2\theta < 82^\circ$ sedangkan peak CuO terdapat di $2\theta \approx 45^\circ$.



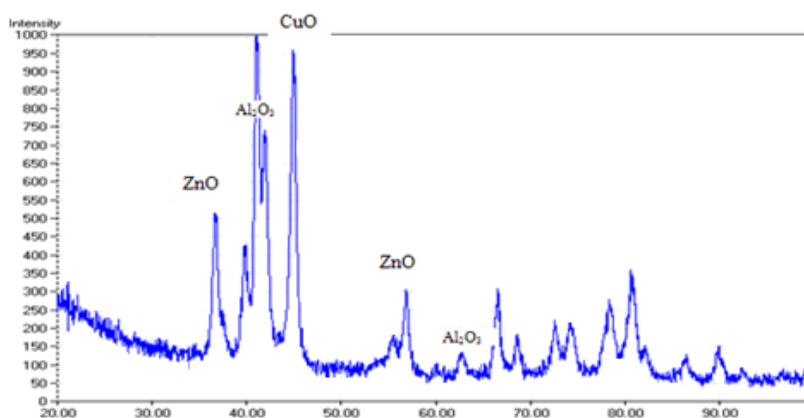
SEMINAR REKAYASA KIMIA DAN PROSES, 4-5 Agustus 2010

ISSN : 1411-4216

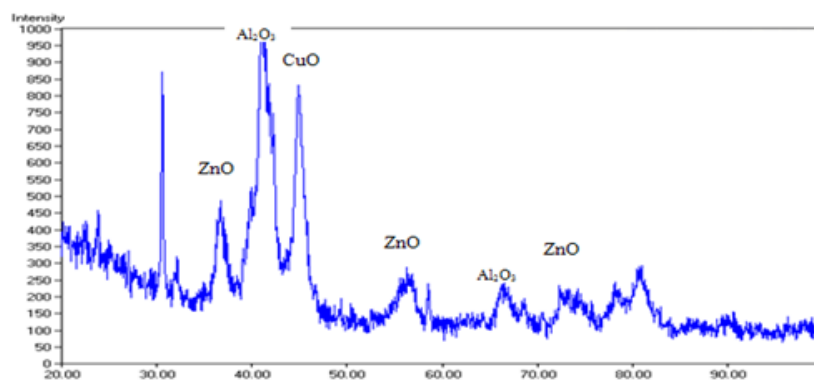
Untuk ukuran kristal dari katalis, dapat dilihat pada tabel 2. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran kristal yang dihasilkan menggunakan metode sol-gel impregnasi lebih kecil dibandingkan dengan metode ko-presipitasi

Tabel 1. Hasil analisis XRF terhadap Katalis Cu-Zn/ γ -Al₂O₃

Senyawa	Metode Ko-Presipitasi Sedimentasi (%berat)					Metode Sol-Gel Impregnasi (%berat)
	Variasi Komposisi Cu:Zn: γ -Al ₂ O ₃ dengan pH 7			Variasi pH dengan Komposisi Cu:Zn: γ -Al ₂ O ₃ 40:27:33		
	33:33:33	40:27:33	47:20:33	pH = 6	pH = 8	
Al ₂ O ₃	23,1	28	25,2	23	15,6	12,3
Na ₂ O	3,2	-	-	2,8	-	4
TiO ₂	0,1	-	-	-	-	-
Fe ₂ O ₃	0,2	0,8	0,7	0,2	0,3	0,2
CuO	37	44	52,5	44,6	50,7	50
ZnO	36	27	21,2	29	33,1	33
Pb ₂ O ₃	0,4	-	-	-	-	-
CaO	-	0,2	0,4	-	0,2	-
SnO ₂	-	-	-	0,4	-	-
NiO	-	-	-	-	0,1	0,5



Gambar 1. Pola XRD dari Cu-Zn- γ -Al₂O₃ dengan metode ko-presipitasi sedimentasi



Gambar 2. Pola XRD dari Cu-Zn- γ -Al₂O₃ dengan metode sol-gel impregnasi

Tabel 2. Ukuran Kristal Katalis

Senyawa	Ukuran Kristal (nm)	
	Metode Ko-Presipitasi Sedimentasi	Metode Sol-Gel Impregnasi
CuO	57	43
ZnO	84	42

sedimentasi. Hal ini dikarenakan laju pengendapan dari metode sol-gel impregnasi lebih rendah dibandingkan dengan ko-presipitasi sedimentasi. Hal ini sejalan dengan peneliti lain yang menyatakan bahwa ukuran kristal CuO yang dihasilkan dengan metode sol-gel impregnasi berkisar antara 70-82 nm, sedangkan untuk metode ko-presipitasi sedimentasi sebesar 220 nm (G. R Moradi, 2006).

Pada uji BET, diperoleh bahwa luas permukaan katalis metode ko-presipitasi sedimentasi dengan komposisi sebesar 40:27:33 (%berat) dan pH =7 sebesar $61 \text{ m}^2/\text{g}$ dan pH=8 sebesar $8 \text{ m}^2/\text{g}$ dengan luas permukaan awal dari $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ sebesar $130 \text{ m}^2/\text{g}$. Hal ini membuktikan bahwa pH mempengaruhi luas permukaan yang dihasilkan oleh katalis.

3.2 Uji Aktivitas Katalis

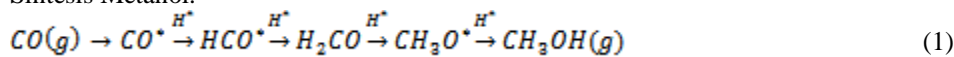
Pada uji aktivitas katalis, reaktor yang digunakan adalah reaktor jenis *fixed bed*, dengan reaktan yang berupa campuran gas karbon monoksida dan hidrogen. Dengan kondisi operasi pada suhu 220°C dan tekanan 20 bar.

Pada uji aktivitas katalis, dilakukan beberapa tahap sebelum reaksi. Tahapan-tahapan itu antara lain adalah uji kebocoran dari reaktor dan pipa-pipa gas, proses reduksi katalis, purging dengan gas nitrogen yang bertujuan untuk menghilangkan sisa-sisa gas hidrogen dalam reaktor, dan selanjutnya dilakukan reaksi pada kondisi operasi yang optimum.

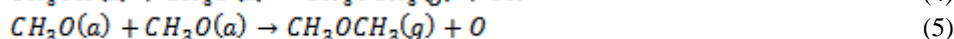
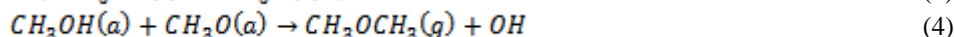
Reaksi dari sintesis langsung dimetil eter ini tidak hanya tergantung pada kondisi termodinamika, tetapi juga tergantung kepada faktor kinetik dan aktivitas katalis yang digunakan. Suhu 220°C merupakan suhu optimal yang digunakan dikarenakan pada suhu 240°C berdasarkan hasil analisis termodinamika, selektivitas dari dimetil eter menurun. Berdasarkan hasil termodinamika ketika tekanan lebih rendah dari 20 bar, maka konversi secara tajam naik seiring dengan kenaikan tekanan operasi sampai 20 bar, namun pada saat tekanan di atas 20 bar, maka kurva konversi kesetimbangan menjadi datar (Ren-Min Shi, 1996).

Dalam reaksi sintesis dimetil eter menggunakan katalis hibrida mengandung dua reaksi berurutan, reaksi itu adalah (Kunpeng Sun, 2003):

- Sintesis Metanol:



- Dehidrasi Metanol:



Dengan ‘*’ menunjukkan sisi aktif permukaan sintesis metanol, ‘O’ adalah oksigen permukaan, ‘g’ adalah gas dan ‘a’ adalah sisi asam dari katalis dehidrasi metanol.

Pada katalis bifungsi, dua macam sisi aktif dalam katalis memiliki kontak yang lebih dekat sehingga transformasi dari CH_3O diadsorbsi pada ‘*’ berpindah tempat secara langsung ke sisi ‘a’ tanpa pembentukan $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$, karena hidrogenasi dari CH_3O^* menjadi metanol merupakan langkah yang paling lambat dalam proses sintesis dimetil eter. Selain itu, kesempatan CH_3O^* untuk bereaksi dengan $\text{CH}_3\text{OH}(\text{a})$ atau $\text{CH}_3\text{O}(\text{a})$ sehingga laju reaksi dari pembentukan dimetil eter akan naik (Kunpeng Sun, 2003).

3.2.1 Katalis Cu-Zn/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan variasi komposisi katalis sintesis metanol

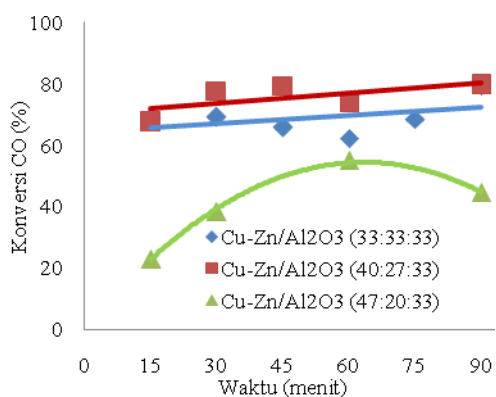
Hasil penelitian ditunjukkan oleh gambar 3 dan 4. Konversi optimum terdapat pada katalis dengan komposisi 40:27:33 (%berat). Hal ini dipengaruhi oleh kandungan katalis sintesis metanol, yaitu Cu dan Zn. Berdasarkan penelitian dari peneliti lain, kandungan ZnO memperbesar konversi karbon dioksida dan menaikkan selektivitas dari dimetil eter (Meilin Jia, 2002). Namun dalam hal ini, komposisi Cu:Zn: $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ optimum pada 40:27:33 (%berat). Dalam katalis ini, Cu bertindak sebagai sisi aktif dari katalis dan Zn bertindak sebagai promotor dari katalis. Zn berfungsi untuk menjaga sisi aktif dari katalis yaitu Cu sehingga tidak mudah terjadi *sintering* dan dapat mendeaktivasi katalis, yaitu menurunkan aktivitas dari katalis.

Dapat dilihat bahwa katalis dengan konversi optimum adalah katalis dengan kandungan Zn sebesar 27 % berat. Jika kandungan Zn dalam katalis terlalu sedikit, seperti ditunjukkan oleh katalis Cu:Zn: $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan komposisi 47:20:33 (% berat), maka konversi akan kecil dan cepat mengalami deaktivasi katalis karena logam Cu sebagai inti aktif akan mengalami penurunan luas permukaan akibat *sintering*. Namun, apabila kandungan Zn

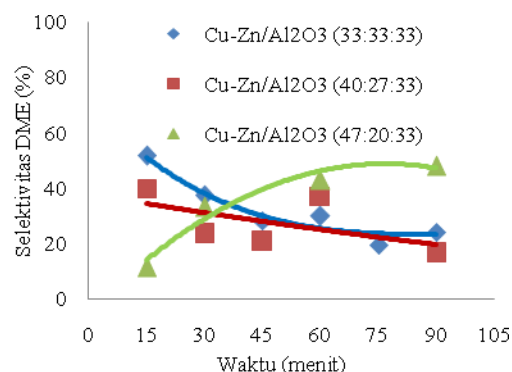
yang terdapat dalam katalis lebih banyak dari 27% maka jumlah Cu yang bekerja sebagai inti aktif akan lebih sedikit sehingga aktivitas katalis akan rendah.

Selektivitas dimetil eter mencapai optimum, yaitu pada 50% untuk komposisi 47:20:33 (% berat). Ini dikarenakan katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ yang digunakan, sisi aktifnya lebih besar dibanding dengan komposisi 33:33:33 (% berat) dan 40:27:33 (% berat), sehingga reaksi menuju dehidrasi metanol lebih baik dibandingkan dengan reaksi dari gas sintesis menuju metanol.

Pada reaksi pembentukan langsung dimetil eter dari gas sintesis, terdapat dua tahap reaksi, yaitu antara lain adalah pembentukan metanol dan selanjutnya pembentukan dimetil eter. Pada penelitian ini, katalis yang digunakan untuk pembentukan metanol adalah katalis Cu-Zn, sedangkan katalis yang digunakan untuk pembentukan dimetil eter dari metanol adalah katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Karena konversi yang dihasilkan besar namun selektivitas terhadap dimetil eter yang kecil, maka dapat disimpulkan bahwa katalis pembentukan metanol yang dihasilkan cukup aktif, namun katalis dehidrasi metanol yang digunakan memiliki aktivitas yang rendah.



Gambar 3. Konversi gas karbon monoksida pada variasi komposisi katalis

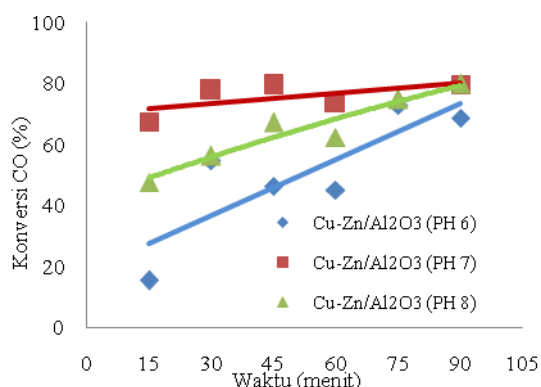


Gambar 4. Selektivitas dimetil ether pada variasi komposisi katalis

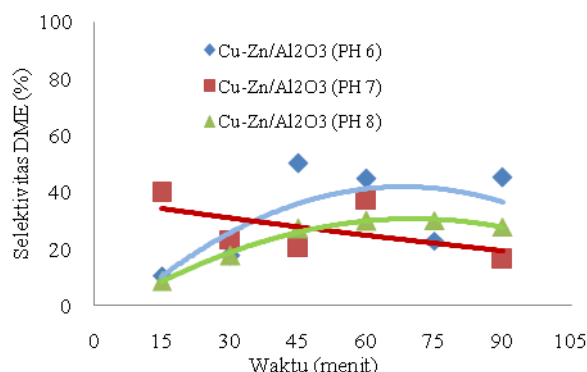
3.2.2 Katalis Cu-Zn/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan variasi pH

Hasil uji aktivitas dengan katalis variasi pH ditunjukkan pada gambar 5 dan 6. Karena pada pH 7 persen Cu dan Zn yang terendapkan merupakan persen yang optimum, sehingga banyaknya Cu yang terendapkan akan lebih banyak dibanding dengan pH 6 dan pH 8. Sehingga aktivitas katalis pada logam Cu dan Zn untuk mengkonversi karbon monoksida tinggi untuk membentuk metanol. Konversi karbon monoksida dan selektivitas dimetil eter dapat dilihat pada gambar 5 dan 6. Dapat dilihat bahwa katalis dengan pH 7 memiliki konversi yang terbaik.

Sedangkan untuk selektivitas dari dimetil eter dapat dilihat bahwa katalis dengan pH 6 memiliki selektivitas yang lebih besar.



Gambar 5. Konversi gas karbon monoksida pada variasi pH

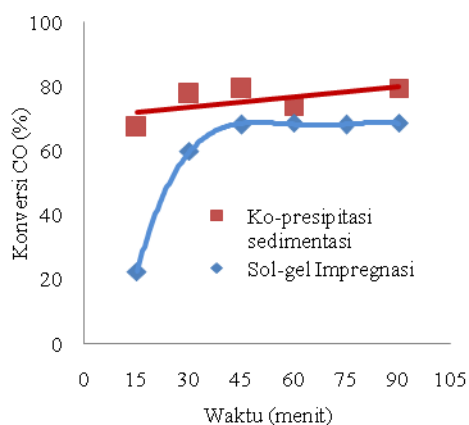


Gambar 6. Selektivitas dimetil ether pada variasi pH

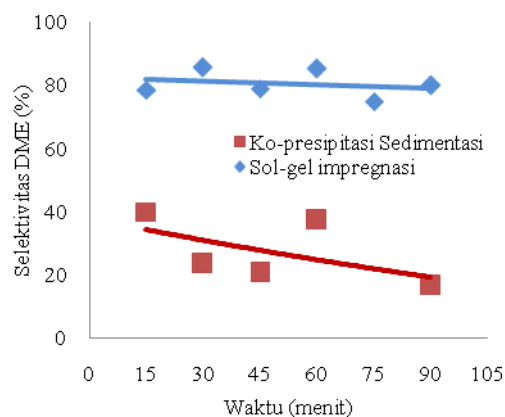
3.2.3 Katalis Cu-Zn/ γ -Al₂O₃ dengan variasi metode

Konversi karbon monoksida dan selektivitas dimetil eter dapat dilihat pada gambar 7 dan 8. Dapat dilihat bahwa katalis baik dengan metode ko-presipitasi sedimentasi dan sol-gel impregnasi memiliki konversi karbon monoksida yang tinggi. ini dikarenakan komposisi katalis sintesis metanol yang terdapat dalam katalis memiliki komposisi yang tidak jauh berbeda.

Sedangkan untuk selektivitas dari dimetil eter dapat dilihat bahwa katalis dengan metode sol-gel impregnasi memiliki selektivitas yang lebih tinggi. Selektivitas yang dihasilkan cukup besar karena selektivitas terhadap produk yang tidak diinginkan lebih sedikit (G. R Moradi, 2006).



Gambar 7. Konversi gas karbon monoksida pada variasi metode



Gambar 8. Selektivitas dimetil ether pada variasi metode

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Dimetil eter dapat diproduksi secara langsung dengan gas sintesis dalam reaktor *fixed bed* dengan katalis Cu-Zn/ γ -Al₂O₃.
2. pH yang digunakan untuk pengendapan pada metode ko-presipitasi sedimentasi terbukti tidak mempengaruhi persen senyawa Cu-Zn yang terendapkan namun mempengaruhi luas permukaan yang dihasilkan oleh katalis.
3. Ukuran kristal CuO yang dihasilkan dari metode sol-gel impregnasi memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan metode ko-presipitasi sedimentasi.
4. Katalis Cu-Zn/ γ -Al₂O₃ dengan metode ko-presipitasi sedimentasi yang terbaik adalah komposisi 40:27:33 (% berat) dan pH 7.
5. Katalis Cu-Zn/ γ -Al₂O₃ dengan metode sol-gel impregnasi memiliki aktivitas yang lebih baik dibandingkan dengan metode ko-presipitasi sedimentasi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan penelitian ini secara finansial oleh Osaka Gas Foundation dan Dikti.

Daftar Acuan

- G. R Moradi, (2006), "Effect of the hybrid catalyst preparation methode upon direct synthesis of dimethyl eter from shyntesis gas", *Cattal comm.*, 8, hal. 598-606.
- Sung-Hwan Ahn, Song-Hyoung Kim, Kwang-Bo Jung, dan Hyun-Sik Hahm, (2007), "Effect of Pressure on Direct Synthesis of DME from Syngas over Metal-pillared Ilerites and Metal/ Metal-pillared Ilerites", *Korean J. Chem. Eng.*, hal. 466-470.
- A. Hadipour dan M. Sohrabi, (2007), "Preparation of Some Bifunctional Catalyst for Direct Conversion of Synthesis Gas to Dimethyl Ether", *Sci.Iran*, Vol 14.
- Kye Sang Yoo, Ji-Hyun Kim, Min-Jo Park, Sun Jin Kim, (2007), "Influence of solid acid catalyst on DME production directly from synthesis gas over the admixed catalyst of Cu/ZnO/Al₂O₃ and various SAPO catalyst", *Appl. Catal*, 330, hal. 57-62.



- Dongsen Mao, (2006), "The direct synthesis of dimethyl ether from syngas over hybrid catalyst with sulfate-modified γ - Al_2O_3 as methanol dehydration component", *Mol. Catal*, hal.138-144.
- Martyn V. Twigg, (1989), "Catalyst Handbook", Butler & Tanner, Inggris, Ch.1. hal. 40-41.
- Ren-Min Shi, Sun Cheng-Lin, (1996), "Development of Catalyst for Synthesizing Dimethyl Ether from Synthesis Gas". *JNGC*, Vol.5, No.4.
- Kunpeng Sun, (2003), "Direct synthesis of DME over bifunctional catalyst: surface properties and catalytic performance". *Appl. Catal*, hal. 243-249.
- Meilin Jia, Wenzhao Li, Hengyong Xu, Shoufu Hou, Chunying Yu dan Qingjie Ge, (2002), "The effect of additives on Cu/HZSM-5 catalyst for DME Synthesis". *Catal Lett.*, Vol.84.