

Pengaruh Suhu Terhadap Konversi Dan Selektivitas Pada Konversi Gas Sintesis Menjadi Dimethyl Ether Dengan Katalis Cu-Zn/ γ Al₂O₃

Suratno Lourentius⁽¹⁾, Achmad Roesyadi⁽²⁾, Mahfud⁽²⁾ dan Said H. Abbas⁽³⁾

⁽¹⁾ Mahasiswa Program S₃ Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan Staf Jurusan Teknik Kimia Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya
Jl. Kalijudan 37 Surabaya 60114 Telp.: (031)3891264; Fax.(031)3891267
e-mail : ratno@mail.wima.ac.id

⁽²⁾ Staf Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax : (031)5995273; e-mail: jtk-its@idola.net.id

⁽³⁾ Mahasiswa Program S₂ Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Abstrak

Minyak dan gas alam jika dibakar membentuk gas hasil pembakaran yang kurang ramah terhadap lingkungan. Seiring dengan menipisnya cadangan dan produksi minyak dan gas alam nasional, maka perlu dicari sumber energi alternatif lain. Dimethyl ether dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan. Reaksi konversi gas sintesis dilaksanakan dalam reaktor unggun tetap pada suhu 220-280^oC, tekanan 40 bar secara kontinyu. Rasio mol hydrogen/karbon monoksida = 2:1 dengan kecepatan 715 ml/menit. Katalis yang dipakai Cu-Zn/ γ Al₂O₃ dengan Cu=7% dan Zn=3% dengan berat sekitar 1 gram. Disimpulkan bahwa pada tekanan 40 bar dan kisaran suhu 220-240^oC konversi karbonmonoksida dan selektivitas dimethyl ether meningkat, sedang pada kisaran suhu 240-280^oC terjadi sebaliknya. Kondisi terbaik dicapai pada 240^oC dan 40 bar dengan konversi karbonmonoksida sekitar 88,73% dan selektivitas dimethyl ether sekitar 43,04%.

Kata kunci: dimethyl ether; gas syntesis, katalis; konversi; selektivitas, suhu

Abstract

When the oil and natural gases be combusted will formed the flue gases that be less friendly with the surroundings. According to the diminishing of nationally resources and production of oil and natural gases, so it was important looking for the other alternatively energy resources. Dimethyl ether can be used as alternatively energy resource that be more friendly with the surroundings. The conversion reaction of synthesis gas (syngas) was carried out in the fixed bed reactor at pressure 40 bar. Moles ratio of hydrogen to carbon monoxide was 2:1 with volumetric flowrate 715 mL/minute. The catalys was Cu-Zn/ γ Al₂O₃ with Cu=7% and Zn=3% and weight about 1 gram. The drawn conclusions there were at range of temperature 220-240^oC, carbon monoxide conversion and dimethyl ether selectivity were increasing, while at range of temperature 240-280^oC were decreasing. The best condition be attained at 240^oC with carbon monoxide conversion was 88,73% and dimethyl ether selectivity was 43,04%.

Key words: dimethyl ether, syngas, catalys, conversion, selectivity, temperature

1. Pendahuluan

Dalam kurun waktu 5 tahun terakhir produksi minyak bumi di Indonesia cenderung menurun dan berkisar dari 1,5 menjadi 1,4 juta barrel per hari (termasuk kondensat dan NGL), sedangkan konsumsi minyak bumi cenderung meningkat berkisar dari 0,9 menjadi 1 juta barrel per hari. Penurunan produksi tersebut dikarenakan penurunan produksi sumur-sumur minyak yang sudah cukup tua. Berbagai usaha telah dilakukan untuk mengkompensasi penurunan produksi tersebut antara lain: mengeksplorasi sumur-sumur minyak yang cadangannya relatif kecil. Proyek-proyek eksplorasi tersebut misalnya: proyek minyak lepas pantai Kalimantan Timur, Natuna Barat dan Jawa Timur; yang kesemuanya diharapkan dapat berproduksi sebelum tahun 2004. Akan tetapi dengan selesainya proyek-proyek minyak tersebut, tidak akan meningkatkan produksi minyak secara nyata (signifikan). Di lain pihak, konsumsi minyak bumi menunjukkan kecenderungan meningkat, yang pada gilirannya membawa Indonesia menjadi Negara pengimpor minyak pada 10 tahun mendatang (Priyanto

dan Bakri, 2002). Cadangan gas alam dan batu bara yang dimiliki Indonesia cukup besar sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Gas alam dapat dimanfaatkan sebagai salah satu jenis bahan bakar yang dapat diterapkan pada berbagai sektor yaitu pembangkit listrik, bahan bakar industri, rumah tangga dan transportasi sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 2. Pemanfaatan gas alam memiliki keunggulan dibandingkan dengan minyak bumi dan batu bara, karena gas hasil pembakarannya yang lebih bersih. Cadangan gas alam terdapat di dekat Arun (Nangro Aceh Darussalam:NAD), sekitar Badak (Kalimantan Timur), ladang-ladang kecil di pantai Jawa, lepas pantai Kangean Jawa Timur, sejumlah tempat di Papua dan Natuna (Priyanto dan Bakri, 2002).

Tabel 1. Potensi Sumberdaya Energi: Minyak, Gas Alam dan Batubara

Sumberdaya Energi	Potensi (reserve)	R/P tahun 2002 ¹⁾
Minyak bumi	5 (milyard bbl)	10,1
Gas Alam	92,5 (TCF)	41,6
Batubara	5370 (juta ton)	58,0

1) R/P: rasio reserve(cadangan) terhadap produksi

Tabel 2. Pemanfaatan Gas Alam (juta SCF) untuk tahun 2000 dan 2001

	2000	2001
Produksi kotor	2.901.302	2.807.150
Gas Injection	78.653	67.250
Gas Lift	181.740	178.432
Fuel Gas	157.238	152.677
Dipasarkan		
LNG Plants	1.588.512	1.489.935
Export	---	31.967
Electricity	223.564	222.271
Fertilizer Plants	214.428	181.449
City Gas	62.561	86.295
Petrochemicals	40.750	48.692
Oil/LPG	44.876	42.244
Cement plants	2.822	3.420
Others	157.990	148.540
Subtotal	2.335.503	2.253.325
Flared and losses	169.750	179.371

Gas alam umumnya ditransportasikan dengan sistem perpipaan atau dalam bentuk cair yang diangkut dengan kapal tangker. Oleh karena gas alam ditambang dalam fase gas, gas alam lebih sulit ditransportasikan daripada minyak bumi atau batubara. Sistem perpipaan adalah salah satu pilihan model transportasi, akan tetapi penyaluran gas lewat perpipaan dari ladang gas ke konsumen adalah cukup mahal terutama bila melalui jarak yang cukup jauh. Hal tersebut selain tidak ekonomis juga rawan terhadap keamanan penyediaannya. Penjualan gas alam dalam fase cair (LNG) seringkali lebih ekonomis dan keamanan suplainya lebih terjamin. Kendala yang dihadapi dalam pemanfaatan gas alam adalah masalah transportasi gas yang membutuhkan biaya investasi yang cukup besar. Pemanfaatan teknologi *Gas-to-Liquid* (konversi gas alam ke gasoline) (*GTL*) dan konversi gas alam ke dimethyl ether (DME) dapat meningkatkan pemanfaatan gas alam. Teknologi tersebut dapat sangat sesuai jika diterapkan di tempat terpencil yang tidak ekonomis untuk sistem perpipaan atau LNG. Sifat-sifat yang dimiliki DME hampir sama dengan sifat-sifat yang dimiliki LPG dengan panas pembakaran 31,75 MJ/kg. Pada masa mendatang, DME dapat mensubstitusi minyak bumi di sektor transportasi dan rumah tangga (LPG) dengan harga yang cukup kompetitif sebagaimana dilaporkan oleh EIA (2002) dalam Tabel 3.

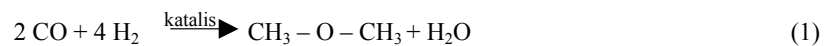
Dimethyl Ether (DME) merupakan senyawa ether yang paling sederhana. Pada mulanya Dimethyl Ether ini merupakan produk samping dari sintesis metanol pada tekanan yang tinggi sekitar 40 bar. Akan tetapi, dengan adanya perkembangan proses sintesis metanol dari tekanan tinggi yang beralih menjadi tekanan rendah, maka dimulailah penelitian-penelitian untuk memproduksi DME ini. Salah satu kelebihan yang dimiliki Dimethyl Ether adalah kemampuannya untuk dapat diperbarui karena gas sintesis yaitu campuran antara gas CO, CO₂, H₂, dapat diproduksi dari senyawa biomassa selain dari gas alam (natural gas). Gas karbon monoksida juga dapat diproduksi dari proses gasifikasi batu bara dengan gas karbon dioksida. Konversi metana dalam gas alam menjadi syngas sudah lazim dilaksanakan di Industri. Penelitian konversi gas alam menjadi gas alam sudah

banyak dilakukan (*proven*), sedangkan penelitian konversi syngas menjadi DME sedang dikembangkan selama satu dasa warsa terakhir.

Tabel 3 Perbandingan Harga Berbagai Jenis Bahan Bakar

Fuel	Present CIF Price (US cents/Mcal)	Future CIF Price (US Cents/Mcal)
Crude Oil	1.89 (\$24/barrel)	2.1 (2005)
LNG	1.87	2.5 (2005)
LPG	3.5	High
Gas Oil	2.71	---
Gasoline	2.58	---
Methanol	3.4	---
DME	---	2.3 (2005)
GTL(gasoline)	---	3.46
Steam Coal	0.92 (\$48/ton)	1.0 (2005)

Reaksi pembentukan DME dan syngas (campuran CO dan H₂) adalah sebagai berikut :



Dalam permasalahan ini peneliti melakukan penelitian untuk mencari formulasi katalis yang terbaik dalam konversi syngas menjadi DME, yang nantinya akan memberikan konversi syngas dan selektivitas DME yang relatif baik.

Beberapa publikasi hasil penelitian tentang konversi syngas membentuk DME antara lain sebagaimana tersebut berikut. Sofianos dan Scurrrell (1991) telah melakukan sintesis syngas menjadi DME dengan katalis Zn-Al/ γ -Al₂O₃ dengan metode preparasi *coprecipitated*. Konversi CO tertinggi adalah (55-60)% pada tekanan 4 MPa, suhu 300°C, rasio mol umpan H₂:CO=2:1 dan GHSV=16.000 h⁻¹. Li dkk. (1996) telah melakukan sintesis syngas menjadi DME dengan katalis CuO-ZnO/ γ -Al₂O₃ sebagai katalis hybrid yang dipreparasi dengan berbagai metode. Dengan metode preparasi *Coprecipitation* Cu-Zn dengan Na₂AlO₂, tekanan 3 MPa, suhu 270°C, GHSV=2000 h⁻¹ dan rasio mol H₂/CO/CO₂=64/31/5 dicapai yield DME 43,7% dan konversi CO=63,8%. Pada tahun 1998, Ge dkk meneliti peran CuO-ZnO-Al₂O₃ sebagai katalis yang dipersiapkan dengan bermacam-macam metode preparasi dan penyangga. Dalam penelitian tersebut ditemukan bahwa CuO-ZnO-Al₂O₃/HZMS-5 dan CuO-ZnO-Al₂O₃/HSY dengan metode *Co-precipitating sedimentation* merupakan katalis dengan unjuk kerja terbaik. Pada kondisi operasi reaktor suhu=290°C, tekanan=4 MPa, GHSV=1500 h⁻¹ dan rasio mol umpan H₂/CO=2 serta CO₂=5% dicapai konversi CO=89% dan selektivitas DME=99%. Selanjutnya, Takeguchi dkk. (2000) telah mempelajari pengaruh sifat asam padat terhadap konversi syngas-to-dimethyl ether (STD) dari bermacam-macam katalis hybrid. Metode preparasi yang diterapkan adalah metode *uniform-gelation* dan kondisi reaktor yang digunakan suhu 270°C, tekanan = 5 MPa, GHSV=4200 h⁻¹ dan rasio mol umpan H₂/CO/CO₂=67/30/3 (%mol). Dilaporkan bahwa katalis yang tersusun dari katalis sintesis untuk sintesis metanol dan silica-alumina yang kaya silica memberikan yield yang tinggi sekitar 55,5% dengan selektivitas DME=93,5%.

Katalis yang dipakai untuk konversi syngas menjadi DME merupakan katalis padat yang tersusun dari penyangga dan logam-logam aktif yang terimpregnasi dipermukaannya. Logam-logam yang biasa digunakan antara lain tembaga, seng, kobalt dan khrom.

2. Bahan dan Metode Penelitian

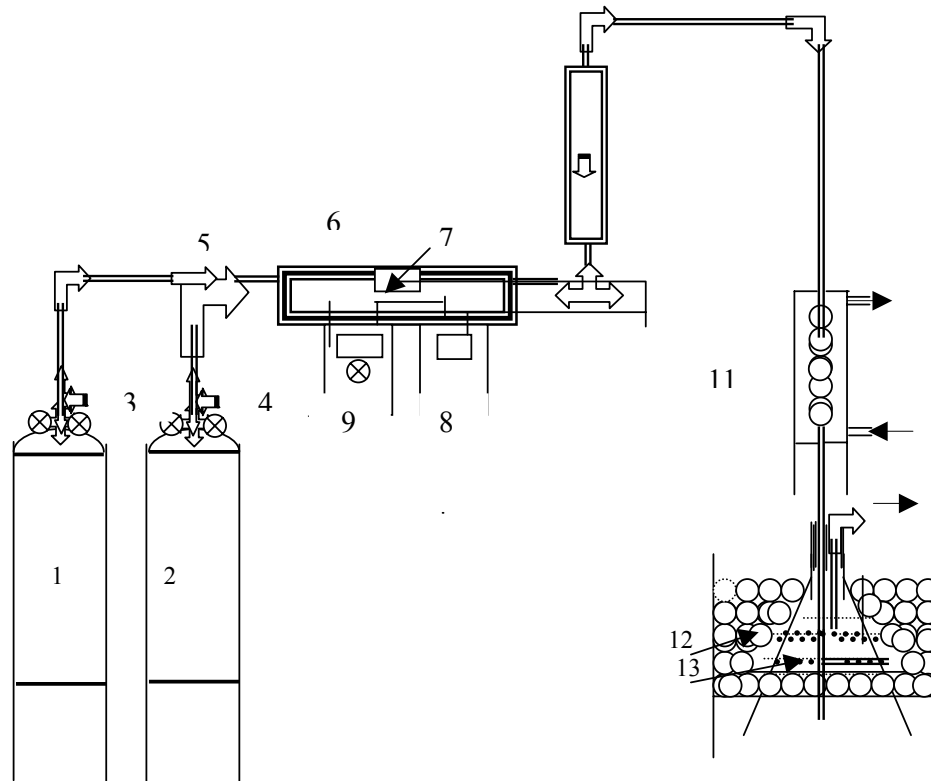
Sebagai bahan penyangga adalah gamma alumina (Al₂O₃) karena bahan ini memiliki luas permukaan spesifik tinggi sekitar 180 m²/gram dan tahan pada suhu tinggi. Sebagai logam aktif adalah logam tembaga (Cu) dan Seng (Zn) yang keduanya berasal dari garam nitratnya Cu (NO₃)₂.3 H₂O dan Zn (NO₃)₂.6 H₂O. Gas-gas yang dibutuhkan sebagai reaktan hidrogen (H₂) grade UHP, karbon monoksida (CO) grade HP dan nitrogen (N₂) grade HP. Penelitian dilakukan melalui 2 tahap : preparasi katalis dan uji konversi syngas

Tahap Preparasi Katalis; Preparasi katalis dilakukan dalam 4 tahap, yaitu :

1. Tahap Impregnasi; mencampurkan larutan kupri nitrat dan seng nitrat dengan konsentrasi dan volum tertentu ke dalam larutan yang mengandung gamma alumina tertentu selanjutnya diaduk pada suhu kamar selama sekitar 1 jam;
2. Tahap Pengeringan; Campuran diupkan dalam *water bath* pada T = 80 °C sambil diaduk sampai terbentuk pasta selanjutnya pasta dikeringkan dalam *oven* pada T = 120 °C selama 4 jam;

3. Tahap Kalsinasi; padatan hasil pengeringan selanjutnya dikalsinasi pada $T = 350^{\circ}\text{C}$ selama ± 6 jam sambil dialiri gas N_2 sebagai media pembawa sisa asam gas NO_2 dengan kecepatan 100 ml/menit;
4. Tahap Reduksi, Padatan hasil kalsinasi selanjutnya dialiri dengan gas H_2 dengan kecepatan 100 ml/menit pada $T = 230^{\circ}\text{C}$ selama 4 jam. Reduksi dimaksudkan untuk mengubah oksid logam menjadi logam aktif.

Peralatan untuk kalsinasi dan reduksi digambarkan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Katalis yang sudah dibuat diuji dengan peralatan XRD untuk mengetahui keberadaan logam aktif yang teripregnasikan dalam penyangga dan diuji AAS untuk menentukan prosen logam dalam katalis.



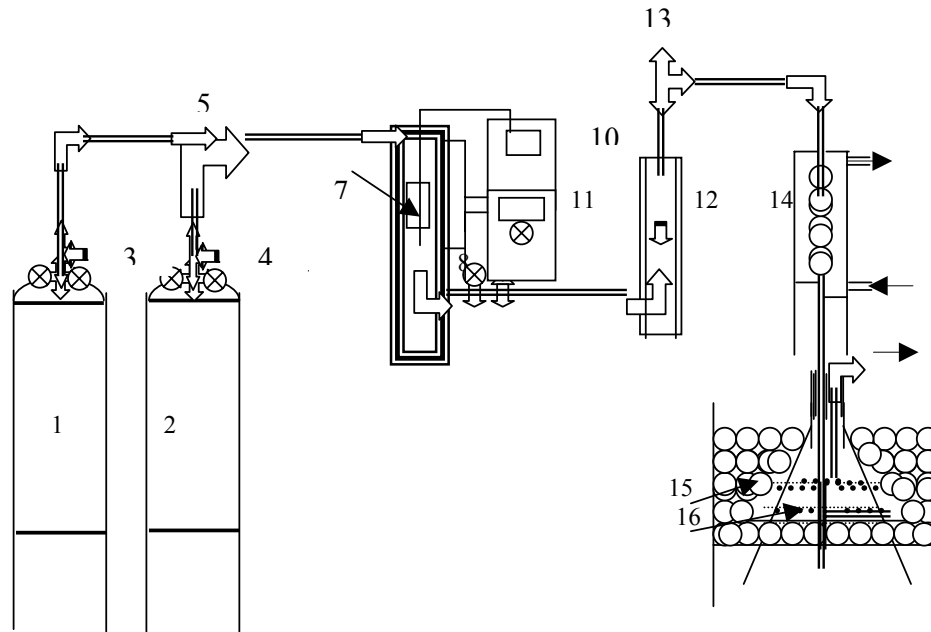
Gambar 1. Rangkaian Alat Untuk Kalsinasi dan Reduksi Katalis

Keterangan Gambar:

- | | |
|--|--------------------------------|
| 1. Tabung gas Karbon Nitrogen (N_2) | 8. Indikator Suhu |
| 2. Tabung gas Hidrogen (H_2) | 9. Pengendali Suhu |
| 3. Metering Valve gas N_2 | 10. Rotameter untuk produk gas |
| 4. Metering Valve gas H_2 | 11. Pendingin Bola |
| 5. Pemcampur gas H_2 dan N_2 | 12. Ice Bath |
| 6. Reaktor dilengkapi dengan pemanas | 13. Penyerap gas hasil reaksi |
| 7. Tempat Katalis | |

Tahap uji konversi syngas

Konversi syngas menjadi dimethyl ether dilaksanakan dalam reaktor unggun tetap bertekanan dengan kondisi; perbandingan mol $\text{H}_2/\text{CO}=2/1$; kecepatan aliran total 715 ml/menit (diukur pada tekanan 1 atm); suhu reaksi $220\text{-}280^{\circ}\text{C}$; berat katalis 1 gram, dan tekanan 40 bar. Diameter dalam reaktor 10 mm terbuat dari *stainless steel* panjang reaktor 300 mm. Reaktor dilengkapi dengan jaket pemanas dari kawat nikelin 750 watt. Produk reaksi yang berupa gas diuji dengan alat Gas Chromatography. (GC) dengan kolom tipe packing MS 5A dengan detector TCD untuk menganalisis CO dan H_2 . GC dengan tipe packing Porapaq-Q dengan detector FID untuk menganalisis DME, metana dan penyusun lain yang terbentuk. Hasil analisis dengan kedua alat GC ditunjukkan dalam khromatogram, dan ini digunakan untuk menghitung komposisi baik umpan maupun produk reaksi serta konversi reaksi CO dan selektivitas DME. Peralatan untuk konversi syngas menjadi DME ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Alat Konversi Syngas Menjadi DME

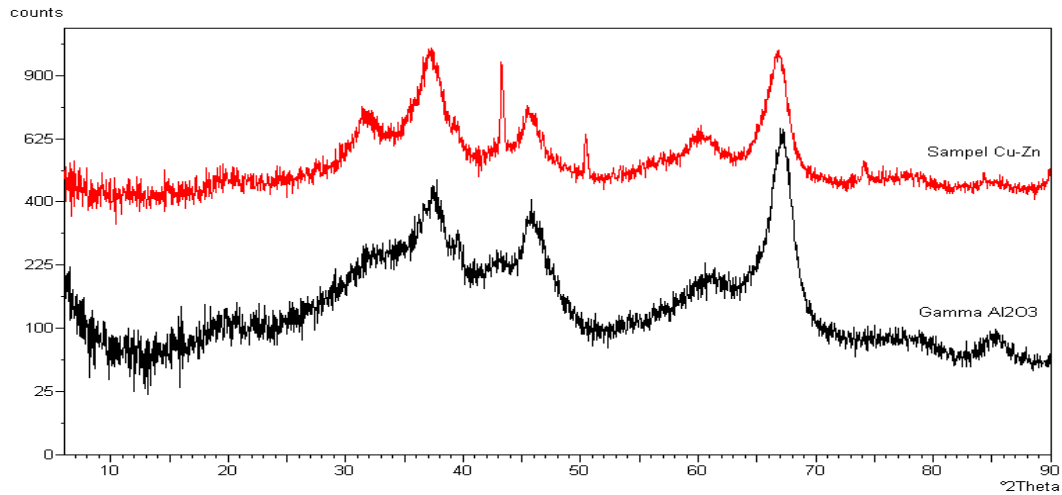
Keterangan Gambar:

- | | |
|--|--------------------------------|
| 1. Tabung gas karbon monoksida (CO) | 9. Safety valve |
| 2. Tabung gas hidrogen (H ₂) | 10. Indikator suhu |
| 3. Metering Valve gas CO | 11. Pengendali suhu |
| 4. Metering Valve gas H ₂ | 12. Rotameter untuk produk gas |
| 5. Pencampur gas H ₂ dan CO | 13. Pipa ke tabung sampler |
| 6. Reaktor dilengkapi dengan pemanas | 14. Pendingin Bola |
| 7. Tempat katalis | 15. Ice Bath |
| 8. Indikator tekanan | 16. Penyerap gas hasil reaksi |

3. Hasil dan Pembahasan

Katalis yang telah dipreparasi yaitu Cu-Zn/ γ -Alumina. Hasil uji XRD berupa difraktogram disajikan dalam Gambar 3 dengan difraktogram untuk γ -alumina sebagai pembanding. Pada Gambar 3 keberadaan

penyangga γ -alumina ditandai dengan sedikitnya 10 puncak (*peak*). Tiga puncak tertinggi berturut-turut terdapat pada sudut 2θ : $5,65^{\circ}$ dengan IR=64,78%; $37,52^{\circ}$ dengan IR=50,47% dan $67,34^{\circ}$ dengan IR=100%. Disamping itu, pada Gambar 3 ditunjukkan difraktogram katalis Cu-Zn/ γ -Alumina. Keberadaan logam Cu ditunjukkan oleh puncak-puncak pada sudut 2θ berturut-turut: $2\theta = 43,3^{\circ}$ dengan IR=99,89%; $2\theta = 50,45^{\circ}$ dengan IR=33,49%; $2\theta = 66,86^{\circ}$ dengan IR=100% dan $2\theta = 74,13^{\circ}$ dengan IR=14,58%. Selain itu, keberadaan logam Zn yang terdapat dalam bentuk Zincite (ZnO) ditunjukkan oleh puncak-puncak pada sudut 2θ berturut-turut: $2\theta = 31,89^{\circ}$ dengan IR=33,7% dan $2\theta = 34,81^{\circ}$ dengan IR=14,58%. Dari uji AAS katalis ini memiliki persen *loading* Cu=6,8% dan Zn=3,4%.

Gambar 3. Difraktogram Katalis Cu-Zn/ γ -Alumina

Uji konversi syngas menjadi DME. Kondisi proses untuk konversi: perbandingan mol $H_2/CO=2/1$; kecepatan aliran 715 ml/menit; suhu reaksi 220-280°C; berat katalis 1gram, dan tekanan 40 bar. Hasil uji kinerja katalis ditunjukkan berupa komposisi umpan dan produk reaksi sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Komposisi Gas Sintesis dan Produk Dimethyl Ether Pada Berbagai Suhu dan 40 Bar

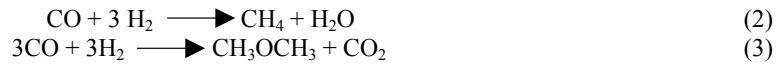
Komp	Gas Sintesis		Produk Dimethyl Ether							
			220°C		240°C		260°C		280°C	
	gmol/m	%mol	gmol/m	%mol	gmol/m	%mol	gmol/m	%mol	gmol/m	%mol
CO	0,01882	34,51	0,0057200	21,734	0,002123	11,103	0,003795	16,889	0,005329	20,85
H ₂	0,03379	64,98	0,0076931	29,232	0,000495	2,590	0,003837	17,077	0,006926	27,09
Ar	0,00017	0,31	0,0001705	0,648	0,000171	0,893	0,000170	0,758	0,000170	0,67
N ₂	0,00011	0,20	0,0001082	0,411	0,000108	0,566	0,000108	0,481	0,000108	0,42
CO ₂	-	-	0,0000027	0,010	0,000003	0,014	0,000003	0,012	0,000003	0,01
C ₂ H ₆ O	-	-	0,0063117	23,983	0,008109	42,404	0,007269	32,349	0,006500	25,43
CH ₄	-	-	0,0000004	0,001	0,000002	0,013	0,000011	0,049	0,000020	0,08
H ₂ O	-	-	0,0063111	23,981	0,008111	42,417	0,007278	32,385	0,006506	25,45
Jumlah	0,05154	100,0	0,0263174	100,00	0,019122	100,0	0,022471	100,0	0,025562	100,0

Dari Tabel 4 di atas dapat dihitung konversi reaksi dan selektivitas sebagaimana tersebut dalam Tabel 5. Konversi reaksi terhadap CO didefinisikan sebagai perbandingan jumlah mol CO yang berubah menjadi produk terhadap jumlah mole CO dalam umpan. Selektivitas didefinisikan perbandingan jumlah mol DME terbentuk terhadap jumlah mol CO dalam umpan.

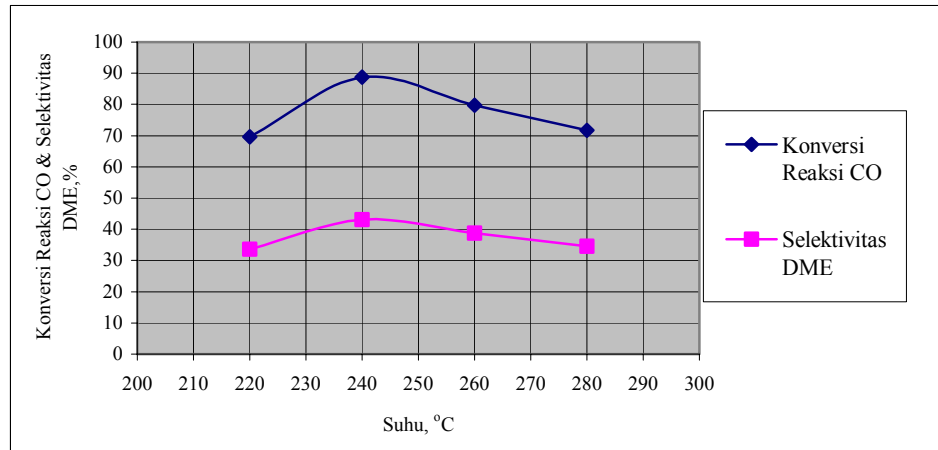
Tabel 5. Hubungan Antara Suhu Terhadap Konversi Reaksi CO dan Selektivitas DME

Suhu, °C	Konversi Reaksi CO, %	Selektivitas DME, %
220	69,60	33,54
240	88,73	43,04
260	79,81	38,67
280	71,65	34,59

Dari Tabel 5 dapat dibuat Gambar 4. Hubungan Antara Suhu Terhadap Konversi CO dan Selektivitas Dimethyl Ether. Dari Tabel 4 terlihat bahwa dalam produk reaksi terdapat komponen CO₂ dan CH₄. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi pembentukan Dimethyl Ether tidak tunggal dan reaksi tersebut berlangsung secara simultan menurut persamaan reaksi:



Reaksi samping pembentukan CO_2 selama suhu pengamatan relatif tetap jumlahnya yaitu sekitar 0,000003 gmol/menit, sedangkan reaksi pembentukan CH_4 dengan meningkatnya suhu dari 220 sampai 280^oC meningkat



Gambar 4. Hubungan Antara Suhu Terhadap Konversi CO dan Selektivitas Dimethyl Ether

juga jumlahnya yaitu berkisar dari 0,0000004 sampai 0,000020 gmol/menit. Dari Tabel 5 dan Gambar 4 terlihat bahwa dari suhu 220 sampai 240^oC konversi reaksi CO meningkat dari 69,60 sampai 88,73% dan selektivitas DME meningkat dari 33,54 sampai 43,04%. Hal ini disebabkan bahwa pada kisaran suhu tersebut katalis bekerja secara aktif dan pembentukan produk samping yaitu CO_2 dan CH_4 masih relatif sedikit. Pada kisaran suhu dari 240 sampai 280^oC terjadi sebaliknya konversi reaksi CO menurun dari 88,73 sampai 71,65% dan selektivitas DME menurun dari 43,04 sampai 34,59%. Hal ini disebabkan bahwa kisaran suhu tersebut meskipun katalis bekerja aktif akan tetapi produk samping yaitu CO_2 dan CH_4 juga terbentuk dan jumlahnya relatif lebih banyak. Kondisi suhu yang relatif baik dicapai pada suhu 240^oC yang memberikan konversi reaksi CO sebesar 88,73% dan selektivitas DME sebesar 43,04%.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan:

1. Kondisi suhu yang relatif baik dicapai pada suhu 240^oC yang memberikan konversi reaksi CO sebesar 88,73% dan selektivitas DME sebesar 43,04% untuk rasio mol H_2/CO dalam umpan sekitar 2/1, kecepatan, umpan masuk 715 ml/men, berat katalis 1 gram dan tekanan reaktor 40 Bar;
2. Reaksi konversi syngas menjadi DME merupakan reaksi paralel dengan hasil samping CO_2 dan CH_4 .

Notasi

AAS = Atomic Absorption Spectra
GHSV=Gas Hourly Space Velocity

HP=High Purity
XRD = X-Ray Diffraction

Daftar Pustaka

- EIA, (2002), "*International Energy Outlook 2002*", <http://www.eia.doe.gov/oiaf/index.html>
- Ge, Q., Huang, Y., Qui, F., and Li, S., (1998), "*Bifunctional Catalysts for Conversion of Synthesis Gas to Dimethyl Ether*", *Applied Catalysis A: General*, 167, hal 23-30
- Li, J.L., Zhang, XG and Inui, T. , (1996), "*Improvement in the Catalyst Activity for Direct Synthesis of Dimethyl Ether from Synthesis Gas Through Enhancing the Dispersion of CuO/ZnO/ γ -Al₂O₃ in Hybrid Catalysts*", *Applied Catalysis A: General*, 147, hal 23-33
- Priyanto, U. dan Bakri, SK. , (2002), "*Peranan Gas Batubara Sebagai Sumberdaya Energi di Indonesia pada Abad 21*", *Prosiding SNTI XI Paradigma Baru Energi di Era Pasar Bebas*, 22-23 Oktober 2002
- Sofianos, AC. and Scurrel, M.S., 1991, "*Conversion of Synthesis Gas to Dimethyl Ether over Bifunctional Catalytic Systems*", *Ind. Eng. Chem. Res.* 30, hal 2372-2378
- Takeguchi, T., Yanagisawa, K. Inui, T. and Inoue, M., 2000, "*Effect of the Property of Acid Upon Syngas-to-Dimethyl Ether Conversion on the Hybrid Catalysts of Cu-Zn-Ga and Solid Acids*", *Applied Catalysis A: General*, 192, hal 201-209