

ACADEMIA ISTA

Jurnal Teknologi

Akreditasi B (No: 52/DIKTI/KEP/2002)

Vol. 10 No. 1 Juni 2005

Elektrolisis Limbah Cair Pemurnian Emas untuk Memungut Tembaga
Bambang Kusmartono

Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan (JST) untuk Mendeteksi Normal/Abnormal Isyarat Detak Jantung Manusia
Bulkis Kanata, I Made Ginarsa, Agung Budi Muljono

Pengaruh Coding terhadap Hasil Kompresi Citra
Emy Setyaningsih

Analisa Kapasitas UpLink dan DownLink Sistem Selular W-CDMA dengan Ketidaksempurnaan Sektorisasi Sel
Gatot Santoso

Perbaikan Proses Produksi Gerabah dengan Pendekatan Metode Taguchi
Joko Susetyo, Imam Sodikin, Ety Nurhastuti

Perbaikan Citra Distribusi Intensitas yang Mengalami Gangguan Derau atau Noise
Muhammad Andang Novianta

Geologi dan Pengembangan Wilayah Daerah Prupuk dan sekitarnya Kecamatan Margasari Kabupaten Tegal Propinsi Jawa Tengah
Miftahussalam, Gusfrmanuel

Metode Pengujian Nilai Koefisien Gesek Statik pada Logam Berdasarkan Nilai Kekasaran dan Kekerasan Permukaan Bahan
Rofarsyam, Sri Mulyati

Isolasi Asam Humat dari Tanah Gambut Kalimantan Barat dan Identifikasi Gugus Fungsinya
Sri Sunarsih

Studi Eksperimental tentang Fenomena Waterhammer Aliran Dua Fasa Akibat Penutupan Katup Secara Tiba-tiba Pada Saluran Horisontal
Sukamta, Indarto

Konversi Katalitik Gas Sintesis Menjadi Dimethyl Ether dengan Katalis Cu-Zn-Al₂O₃/γ-Al₂O₃ (Pengaruh Suhu dan Kecepatan Aliran Umpan)
Suratno Lourentius, Achmad Roesyadi, Mahfud

Perencanaan Mekanis Jaringan Distribusi Saluran Udara Tegangan Menengah 20 kV
Syafriyudin

Analisis Controllability dan Total Annual Cost pada Desain dan Struktur Kontrol Kolom Distilasi dengan Integrasi Panas untuk Proses Pemisahan Acetone 1-Butanol-Ethanol
Totok Ruki Biyanto, Abdul Haris Mahfud, Bambang Kusmartono

Pengaruh Penghapusan dan Penyisipan Rusuk terhadap Perubahan beberapa Karakteristik Graf Bipartit
Yudi Setyawan



JURNAL TEKNOLOGI

Pelindung

Prof. Dr. Bambang Soedijono Wiriaatmadja

Penanggung Jawab

Dra. Hj. Naniek Widyastuti, M.T.

Pemimpin Umum/Pemimpin Redaksi

Sukamta, Ph.D

Mitra Bestari

Prof. Dr. Bambang Soedijono Wiriaatmadja

Dr. Ir. Wahyu Purwanto, MSIE

Prof. Adi Soesanto, M.Sc., Ph.D

Drs. Jazi Eko Istiyanto, M.Sc., Ph.D

Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA

Ir. R. Sukrisno, MSME, Ph.D

Prof. Ir. Wahyudi Budi Sedyawan, SU., Ph.D

Prof. Ir. Sukandarrumidi, M.Sc., Ph.D

Drs. Retantyo Wardoyo, M.Sc., Ph.D

Sekretaris

Tri Wahyuningsih, ST

Bendahara

Ir. Prastyono Eko Pambudi, M.T.

Dewan Redaksi

Ir. Moedjiana Sajidi, M.T.

Ir. Risma Adelina Simanjuntak, M.T.

Ir. Sudarsono, M.T.

Ir. Wiwik Handajadi

Ir. Amir Hamzah, M.T.

Drs. Yudi Setyawan, MS., M.Sc

Ir. Slamet Suyono, M.T.

Redaksi Pelaksana

Suwanto Raharjo, S.Si., M.Kom

Wisnu Widiarto, S.Si., M.T.

Ellyawan Setyo Arbintarso, ST., M.Sc

Dra. Suprih Ambawani

Alamat Redaksi :

Lembaga Penelitian Institut Sains & Teknologi AKPRIND

Jl. Kalisahak No. 28 Kompleks Balapan Yogyakarta 55222

Telp. (0274) 563029, Fax. (0274) 563847

Email : ista@indo.net.id, <http://www.akprind.ac.id>

HAK DAN KEWAJIBAN REDAKSI

Redaksi menolak naskah yang tidak memenuhi kriteria/persyaratan teknis, mengadakan perubahan susunan naskah, memperbaiki bahasa dan berkonsultasi dengan penulis sebelum naskahnya dimuat.

ISSN : 1410-5829



JURNAL TEKNOLOGI

Pelindung

Prof. Dr. Bambang Soedijono Wiriaatmadja

Penanggung Jawab

Dra. Hj. Naniek Widyastuti, M.T.

Pemimpin Umum/Pemimpin Redaksi

Sukanta, Ph.D

Mitra Bestari

Prof. Dr. Bambang Soedijono Wiriaatmadja

Dr. Ir. Wahyu Purwanto, MSIE

Prof. Adi Soesanto, M.Sc., Ph.D

Drs. Jazi Eko Istiyanto, M.Sc., Ph.D

Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA

Ir. R. Sukrisno, MSME, Ph.D

Prof. Ir. Wahyudi Budi Sedyawan, SU., Ph.D

Prof. Ir. Sukandarrumidi, M.Sc., Ph.D

Drs. Retantyo Wardoyo, M.Sc., Ph.D

Sekretaris

Tri Wahyuningsih, ST

Bendahara

Ir. Prastyono Eko Pambudi, M.T.

Dewan Redaksi

Ir. Moedjiana Sajidi, M.T.

Ir. Risma Adelina Simanjuntak, M.T.

Ir. Sudarsono, M.T.

Ir. Wiwik Handajadi

Ir. Amir Hamzah, M.T.

Drs. Yudi Setyawan, MS., M.Sc

Ir. Slamet Suyono, M.T.

Redaksi Pelaksana

Suwanto Raharjo, S.Si., M.Kom

Wisnu Widiarto, S.Si., M.T.

Ellyawan Setyo Arbintarso, ST., M.Sc

Dra. Suprih Ambawani

Alamat Redaksi :

Lembaga Penelitian Institut Sains & Teknologi AKPRIND

Jl. Kalisahak No. 28 Kompleks Balapan Yogyakarta 55222

Telp. (0274) 563029, Fax. (0274) 563847

Email : ista@indo.net.id, <http://www.akprind.ac.id>

ISSN : 1410-5829



HAK DAN KEWAJIBAN REDAKSI

Redaksi menolak naskah yang tidak memenuhi kriteria/persyaratan teknis, mengadakan perubahan susunan naskah, memperbaiki bahasa dan berkonsultasi dengan penulis sebelum naskahnya dimuat.

DAFTAR ISI

Elektrolisis Limbah Cair Pemurnian Emas untuk Memungut Tembaga <i>Bambang Kusmartono</i>	1
Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan (JST) untuk Mendeteksi Normal/Abnormal Isyarat Detak Jantung Manusia <i>Bulkis Kanata, I Made Ginarsa, Agung Budi Muljono</i>	8
Pengaruh <i>Coding</i> terhadap Hasil Kompresi Citra <i>Emy Setyaningsih</i>	18
Analisa Kapasitas <i>UpLink</i> dan <i>DownLink</i> Sistem Selular W-CDMA dengan Ketidaksempurnaan Sektorisasi Sel <i>Gatot Santoso</i>	28
Perbaikan Proses Produksi Gerabah dengan Pendekatan Metode Taguchi <i>Joko Susetyo, Imam Sodikin, Etty Nurhastuti</i>	38
Perbaikan Citra Distribusi Intensitas yang Mengalami Gangguan Derau atau <i>Noise</i> <i>Muhammad Andang Novianta</i>	51
Geologi dan Pengembangan Wilayah Daerah Prupuk dan sekitarnya Kecamatan Margasari Kabupaten Tegal Propinsi Jawa Tengah <i>Miftahussalam, Gusfrimanuel</i>	68
Metode Pengujian Nilai Koefisien Gesek Statik pada Logam Berdasarkan Nilai Kekasaran dan Kekerasan Permukaan Bahan <i>Rofarsyam, Sri Mulyati</i>	83
Isolasi Asam Humat dari Tanah Gambut Kalimantan Barat dan Identifikasi Gugus Fungsinya <i>Sri Sunarsih</i>	94
Studi Eksperimental tentang Fenomena <i>Waterhammer</i> Aliran Dua Fasa Akibat Penutupan Katup Secara Tiba-tiba Pada Saluran Horisontal <i>Sukamta, Indarto</i>	103
Konversi Katalitik Gas Sintesis Menjadi Dimethyl Ether dengan Katalis $\text{Cu-Zn-Al}_2\text{O}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (Pengaruh Suhu dan Kecepatan Aliran Umpan) <i>Suratno Lourentius, Achmad Roesyadi, Mahfud</i>	114
Perencanaan Mekanis Jaringan Distribusi Saluran Udara Tegangan Menengah 20 kV <i>Syafriyudin</i>	125
Analisis <i>Controllability</i> dan <i>Total Annual Cost</i> pada Desain dan Struktur Kontrol Kolom Distilasi dengan Integrasi Panas untuk Proses Pemisahan <i>Acetone 1-Butanol-Ethanol</i> <i>Totok Ruki Biyanto, Abdul Haris Mahfud, Bambang Kusmartono</i>	135
Pengaruh Penghapusan dan Penyisipan Rusuk terhadap Perubahan beberapa Karakteristik Graf Bipartit <i>Yudi Setyawan</i>	147

**KONVERSI KATALITIK GAS SINTESIS MENJADI DIMETHYL ETHER DENGAN
KATALIS Cu-Zn-Al₂O₃/γ-Al₂O₃
(PENGARUH SUHU DAN KECEPATAN ALIRAN UMPAN)**

Suratno Lourentius¹ Achmad Roesyadi dan Mahfud²

INTISARI

Dalam rangka pencarian sumber anergi alternatif baru yang ramah lingkungan, kini dikembangkan penelitian dengan bahan baku gas alam untuk dikonversi menjadi dimethyl ether (DME). Sebelumnya, gas alam tersebut dikonversi terlebih dahulu membentuk gas sintesis. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari unjuk kerja katalis Cu-Zn-Al₂O₃/γ-Al₂O₃ untuk konversi gas sintesis menjadi DME. Katalis Cu-Zn-Al₂O₃/γ-Al₂O₃ dipreparasi secara impregnasi. Selanjutnya, katalis dianalisis dengan XRD dan ICPS. Katalis Cu-Zn-Al₂O₃/γ-Al₂O₃ yang dibuat memiliki *percent loading* 11% Cu, 1,74% Zn dan 2,0% Al. Konversi gas sintesis dilaksanakan dalam reaktor unggun tetap dengan Cu-Zn-Al₂O₃/γ-Al₂O₃ sebagai katalis dengan: perbandingan mol hidrogen terhadap karbon monoksida (CO) = 2/1, kecepatan aliran umpan 88-121 ml/menit, suhu 240-300°C; berat katalis 3 gram dan tekanan 40 bar. Produk reaksi dianalisis dengan Gas Chromatography. Disimpulkan bahwa: katalis Cu-Zn-Al₂O₃/γ-Al₂O₃ dapat mengkonversi gas sintesis menjadi DME; untuk aliran gas umpan 88-121 ml/menit, makin tinggi suhu dari 240-300 °C konversi reaksinya akan menurun secara bervariasi antara 0,926-0,325 dan untuk berbagai kecepatan aliran umpan makin tinggi suhu, maka selektivitas DME akan menurun dari yang tertinggi 1 sampai 0,561.

Kata kunci: gas sintesis, konversi, DME

ABSTRACT

Recently, in order to look for the new energy alternative, which is environmently friendly, researches with natural gas as a raw material to produce dimethyl ether (DME) have been conducted. Initially, natural gas was converted to synthesis gas. The aim of this research was to study the performance of catalyst of Cu-Zn-Al₂O₃/γ-Al₂O₃ in conversion of synthesis gas to DME. Cu-Zn-Al₂O₃/γ-Al₂O₃ was prepared by impregnation method. Then, the catalyst was analyzed by XRD and ICPS instruments. The metals loading in Cu-Zn-Al₂O₃/γ-Al₂O₃ catalyst were Cu=11%, Zn=0.74% and Al=2.0%. Conversion of synthesis gas was carried out in the fixed bed reactor with Cu-Zn-Al₂O₃/γ-Al₂O₃ as catalyst at: mole ratio of hydrogen to carbon monoxide = 2/1, feed flow rates of 88-121ml/minute, temperature= 240-300°C; catalyst weight=3 gram and pressure= 40 bar. Reaction products were analyzed by Gas Chromatography. The conclusions were as follow: catalyst Cu-Zn-Al₂O₃/γ-Al₂O₃ could convert synthesis gas to DME; for flow rates of feed of 88-121 ml/minute, while temperature increase from 240 to 300 °C the conversion of CO decreased in variation between 0,926 to 0,325 and for all of feed rates, temperature increase results in the decrease of selectivity of DME from 1 to 0.561.

Keywords: synthesis gas, conversion, DME.

¹ Mahasiswa S₃ ITS dan Dosen Unika Widya Mandala E-mail:ratno@mail.wima.ac.id

² Dosen Program S₃ Jurusan Teknik Kimia FTI ITS Kampus Sukolilo Surabaya

PENDAHULUAN

Latar Belakang. Selama 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 *Liquified Natural Gas (LNG)*), sedangkan konsumsi minyak bumi cenderung meningkat berkisar dari 0,9 menjadi 1 juta barrel per hari. Penurunan produksi tersebut disebabkan oleh 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.

Tabel 1. Potensi Sumber Daya Energi

Sumber daya 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 terhadap produksi

Pemanfaatan Gas alam 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 Darrussalam:NAD), sekitar Badak (Kaliman-tan Timur), ladang-ladang kecil di pantai Jawa, lepas pantai Kangean Jawa Timur, sejumlah tempat di Papua dan Natuna (Priyanto dan Bakri, 2002).

Metode pengangkutan Gas alam umumnya dengan sistem perpipaan atau dalam bentuk cair yang diangkut dengan

Tabel 2. Pemanfaatan Gas Alam (juta SCF)

	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

kapal tangker. Oleh karena 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.

Rumusan Masalah

Masalah atau kendala yang dihadapi dalam pemanfaatan gas alam adalah masalah transportasi gas yang membutuhkan biaya investasi yang

cukup besar. Pemanfaatan teknologi *Gas-to-Liquid* (=GTL) konversi gas alam ke gasoline 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.

Tabel 3. Perbandingan Harga Berbagai Bahan Bakar (Ohno, 2002)

Fuel	Present CIP Price (USCents/Mcal)	Future CIP Price (US Cents/Mcal)
Crude Oil	1.89	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(gasolin)	---	3.46
Steam Coal	0.92	1.0 (2005)

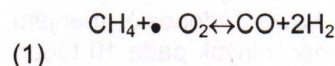
Disamping itu pemakaian dimethyl ether sebagai bahan bakar akan memberikan gas hasil pembakarannya akan ramah terhadap lingkungan.

Dimethyl ether dapat juga digunakan sebagai pengganti refrigeran CFC (*Chlorofluorocarbons*). CFC merupakan salah satu dari sekian banyak senyawa yang dapat merusak lapisan ozon. Jika dimethyl ether dipakai sebagai pengganti CFC, maka oleh karena sifat dimethyl ether yang mudah larut dalam air dan mudah terurai atau terdegradasi di dalam lapisan troposfer; senyawa dimethyl ether tidak akan pernah mencapai lapisan ozon, apalagi merusaknya.

Manfaat dimethyl ether lainnya adalah sebagai bahan baku untuk pembuatan senyawa hidro karbon dengan rantai yang lebih panjang

misalnya methyl acetat, asam asetat, premium, gasolin dan senyawa-senyawa aromatis.

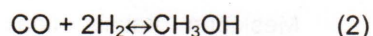
Dimethyl ether merupakan senyawa paling sederhana. Pada mulanya dimethyl ether ini merupakan produk samping dari sintesis metanol pada tekanan tinggi sekitar 40 bar. Akan tetapi dengan adanya perkembangan proses sintesis metanol tersebut beralih dari tekanan tinggi ke tekanan rendah, maka dimulailah penelitian-penelitian untuk memproduksi dimethyl ether ini. Salah satu keunggulan bahan dimethyl ether ini adalah kemampuannya untuk diperbarui karena gas sintesis yaitu gas campuran yang tersusun dari karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂) dan hidrogen (H₂), dapat diproduksi dari senyawa biomassa, selain dari gas alam. Konversi metana gas alam menjadi gas sintesis sudah banyak dilakukan (*proven*). Reaksi konversi ini merupakan reaksi oksidasi parsial metana. Reaksi ini agak eksotermis, yang berbeda dengan kondisi sangat eksotermis pada proses *steam reforming* dan berlangsung menurut persamaan reaksi berikut:



Reaksi ini dapat memproduksi syngas secara stoikiometris untuk sintesis metanol. Katalis efektif diperlukan untuk melaksanakan selektivitas reaksi pada suhu menengah. Peneliti dari Universitas Oxford melaporkan tentang kondisi proses pembentukan metanol satu tahap dari syngas suhu 775°C (selektivitas 97% pada konversi 94%) dengan katalis yang digunakan *lanthanide ruthenium oxide* atau *alumina supported ruthenium*. Suhu proses tersebut berbeda jauh dengan suhu konvensional sebelumnya yaitu 1200 °C (Cheng and Kung, 1994). Karbon monoksida juga dapat diproduksi dari proses gasifikasi batu bara dengan gas karbon dioksida.

Dimethyl ether dapat dibuat melalui 2 cara yaitu 2 tahap dan 1 tahap. Reaksi pembentukan dimethyl ether 2 tahap yaitu tahap pembentukan metanol

dan kedua tahap dehidrasi metanol menurut persamaan reaksi berikut:



$\Delta H_{f600K} = -100,46$ kJ/mole dan

$\Delta G_{f600K} = +45,36$ kJ/mole

Reaksi bersifat eksotermis dan mengingat nilai ΔG_{f600K} yang positif berarti reaksi sukar berlangsung, oleh karenanya dilaksanakan pada suhu tinggi 200-280 °C, dan tekanan tinggi=5-10 MPa dan katalis CuO-Zn/Al₂O₃ (Cheng and Kung, 1994).

Reaksi dehidrasi metanol berlangsung: P

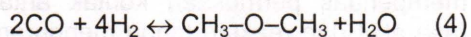


$\Delta H_{f600K} = -20,59$ kJ/mole dan

$\Delta G_{f600K} = -10,71$ kJ/mole

reaksi ini bersifat eksotermis dan mengingat nilai $\Delta G_{f600K} = -10,71$ kJ/mole yang negatif berarti reaksi mudah berlangsung. Xu dan kawan-kawan (1997) melaporkan bahwa dalam 10 menit pada 225 °C dicapai konversi metanol 27,5% dengan selektivitas dimethyl ether 78,5% dengan hasil samping CO dan CH₄. Setelah reaksi berlangsung sekitar 4,5 jam, konversi metanol menurun dari 27,9% sampai 16,5%, sementara selektivitas dimethyl ether menurun sedikit. Kinetika dehidrasi metanol menjadi dimethyl ether dengan katalis γ -Al₂O₃, selanjutnya ditemukan bahwa karbon aktif yang dioksidasi dengan amonium sulfat mempunyai grup asam terkuat dan sangat aktif dalam dehidrasi metanol menjadi dimethyl ether. Pada 453 °K dengan katalis tersebut dicapai konversi reaksi 12,61%, kecepatan reaksi = 27 $\mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{menit})$ dan tenaga aktivasi 85,5 kJ/mol. (Cheng and Kung, 1994).

Reaksi pembentukan DME dari gas sintesis (campuran CO dan H₂) satu tahap adalah sebagai berikut :



Reaksi tersebut berlangsung dalam fase gas dengan panas reaksi dan energi bebas Gibbs pada 600°K adalah $\Delta H_{f600K} = -35,31$ kJ/mole dan $\Delta G_{600K} = +79,97$ kJ/mol.

Mengingat nilai $\Delta G_{600K} = +79,97$ kJ/mol yang positif berarti reaksi tersebut sukar dan dapat berlangsung pada suhu dan tekanan tinggi serta perlu katalis.

Penelitian ini bertujuan untuk mencari formulasi katalis yang relatif baik dalam mengkonversi gas sintesis menjadi DME. Selain itu untuk mempelajari pengaruh suhu dan kecepatan aliran produk reaksi terhadap konversi karbon monoksida dan selektivitas DME. Secara teoritis reaksi konversi ini berlangsung dalam fase gas dengan panas reaksi dan energi bebas Gibbs pada 600°K adalah $\Delta H_{f600K} = -35,31$ kJ/mole dan $\Delta G_{600K} = +79,97$ kJ/mol. Terdapat beberapa publikasi hasil penelitian tentang konversi gas sintesis membentuk DME antara lain eksperimen yang dilakukan oleh Sofianos dan Scurrrell (1991) telah melakukan konversi gas sintesis menjadi DME dengan katalis Zn-Al/ γ -Al₂O₃ dengan metode preparasi *coprecipitated*. Dari penelitian tersebut dilaporkan bahwa konversi tertinggi CO menjadi DME adalah (55-60)% pada tekanan 4 MPa, suhu 300°C, rasio mol produk H₂:CO=2:1 dan GHSV=16.000 jam⁻¹. Li dan kawan-kawan. (1996) juga telah melakukan percobaan konversi gas sintesis menjadi DME dengan katalis CuO-ZnO/ γ -Al₂O₃ sebagai katalis hybrid yang dipreparasi dengan berbagai metode. Dari penelitian tersebut dilaporkan bahwa 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 dan kawan-kawan meneliti peran CuO-ZnO-Al₂O₃ sebagai katalis yang dipersiapkan dengan bermacam-macam metode preparasi dan penyangga. Dari kegiatan tersebut ditemukan bahwa CuO-ZnO-Al₂O₃/HZMS-5 dan CuO-ZnO-Al₂O₃/HSY dengan metode *Co-precipitating sedimentation* merupakan katalis dengan unjuk kerja terbaik. Dengan katalis tersebut pada kondisi operasi reaktor suhu=290°C, tekanan 4Mpa, GHSV=1500 h⁻¹ dan rasio mol produk H₂/CO=2 serta CO₂=5% dicapai konversi CO=89% dan selektivitas DME=99%.

Takeguchi dan kawan-kawan. (2000) mempelajari pengaruh sifat asam padat terhadap konversi gas sintesis-to-DME (STD) pada bermacam-macam katalis hybrid, melaporkan bahwa katalis yang tersusun dari katalis sintesis metanol dan silica-alumina yang kaya silica menunjukkan yield yang tinggi 55,5% dengan selektivitas 93.5% DME (DME). Metode preparasi yang digunakan adalah *uniform-gelation method*. Kondisi operasi pada reaktor 270°C, 5 MPa, GHSV = 4200 h⁻¹ dengan ratio produk : H₂/CO/CO₂ = 67/30/3 (% mol). Omata dan kawan-kawan. (2002) mempelajari Sintesis DME pada tekanan rendah dengan hybrid katalis berbasis Cu dengan "gradient temperatur reactor" mendapatkan konversi tertinggi CO menjadi DME adalah 90 % pada kondisi operasi (1-5) MPa dan (498-550 °K) dengan dengan metode preparasi *oxalate ethanol method*.

Selanjutnya, Sun dan kawan-kawan. (2003) telah mempelajari sintesis langsung DME dengan katalis bifungsional. Metode preparasi katalis yang diterapkan Kondisi operasi yang diterapkan *coprecipitating sedimentation method*. Kondisi operasi unjuk kerja katalis yaitu komposisi produk 30% CO, 3% CO₂ dan 67% H₂ dan kondisi reactor 3 MPa, 250 °C dan *space velocity* (SV) = 1.500 jam⁻¹.

Pemilihan katalis yang tepat pada suatu reaksi menjadi hal sangat penting. Kegiatan ini membutuhkan panduan yang berupa teori katalisis, hubungan antara sifat (fisika, kimia, termodinamika) katalis dengan sifat dan mekanisme reaksi. Reaksi adalah proses penyusunan (pemutusan dan pembentukan) ikatan atom dalam molekul-molekul reaktan, sehingga diperoleh molekul dengan struktur kimia yang berbeda dari reaktannya. Unjuk kerja reaksi yaitu konversi maksimum dan laju reaksi yang ditentukan oleh dua sifat reaksi (termodinamika dan kinetika reaksi). Kedua sifat ini pada saat terjadinya reaksi sangat diperlukan, terutama untuk kegiatan seperti: perancangan kondisi reaksi dan reaktor,

evaluasi unjuk kerja reaksi dan reaktor serta pengendalian kondisi reaksi.

Meskipun katalis tidak berubah sampai akhir proses, tidak berarti bahwa katalis tidak ikut serta dalam reaksi. Pada kenyataannya, dalam postulat aktivitas katalis menyatakan bahwa katalis secara aktif mengambil bagian dalam reaksi. Adanya katalis dapat menurunkan energi aktivasi reaksi. Katalis efektif dalam menaikkan laju reaksi sebab memuat kemungkinan mekanisme, dimana masing-masing mempunyai energi aktivasi yang lebih rendah dibanding proses yang tanpa katalis.

Berdasarkan kajian pustaka diatas dapat disimpulkan bahwa pada umumnya katalis yang dipakai untuk mengkonversi gas sintesis menjadi DME merupakan katalis padat yang tersusun dari penyangga dan logam-logam aktif yang terimpregnasi di permukaannya. Logam-logam yang biasa digunakan antara lain tembaga, seng,, cobalt dan aluminium. Prosent loading logam, dan rasio dan kecepatan (*Gas Hourly Space Velocity*=GHSV) gas reaktan sangat berpengaruh terhadap konversi gas sintesis serta selektivitas terhadap DME. Dengan demikian di dalam penelitian ini jenis dan prosent loading logam menjadi salah satu objektif selain kondisi operasi percobaan (suhu dan tekanan percobaan).

Pada katalis heterogen, reaksi berlangsung dipermukaan katalis. Oleh karena itu, katalis heterogen harus dapat menyediakan permukaan yang luas. Akan tetapi karena bentuk kristalnya, sering fasa aktif tidak memiliki permukaan yang luas, akibatnya tidak seluruh pusat aktif dapat melakukan kontak dengan reaktan. Pada keadaan ini fasa aktif perlu ditebarkan dipermukaan padatan penyangga berpermukaan luas, dengan tujuan memperluas permukaan kontak antara fasa aktif dan reaktan tanpa mengurangi aktifitas fasa aktif itu sendiri. Bahkan dapat dipilih penyangga yang sekaligus mempengaruhi sifat kimia fasa aktif, sehingga menjadi lebih aktif untuk suatu reaksi.

Ukuran pori penyangga, selain menentukan luas ukuran spesifik, juga dapat menentukan sifat-sifat lain dari katalis. Penyangga dengan pori berdiameter kecil memiliki permukaan yang luas, tetapi dalam penggunaannya sebagai katalis dapat menghasilkan hambatan difusi. Beberapa padatan memiliki pori berukuran molekul dan seragam (zeolite). Sifat padatan yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan penyangga adalah : keinertan, kekuatan mekanikal (keras, tahan terhadap erosi), kestabilan pada rentang kondisi reaksi dan regenerasi, luas permukaan, porositas dan harga yang murah.

Penyangga yang umum digunakan antara lain alumina, silica, karbon aktif. Selain itu masih terdapat penyangga yang mempunyai sifat unik yaitu sangat berpori, pori-porinya berukuran molekul, mampu menukar kation, memiliki pusat asam dan mudah dimodifikasikan, penyangga tersebut tidak lain adalah zeolite. Sejalan dengan itu kini dikembangkan katalis yang mempunyai 2 manfaat: misal katalis yang dapat menghidrogenasi dan sekaligus juga mendehidrasi hasil reaksi. Untuk itu dalam penelitian ini dipilih paduan logam-logam aktif Cu, Zn, Al yang berperan untuk menghidrogenasi karbon monoksida membentuk metanol dan penyangga gamma alumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) yang dapat mendehidrasi metanol membentuk dimethyl ether.

Metodologi Penelitian

Di dalam penelitian ini bahan penyangga yang digunakan adalah gamma alumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) karena bahan ini memiliki luas permukaan spesifik tinggi sekitar $180 \text{ m}^2/\text{gram}$ dan tahan pada suhu tinggi. Sebagai logam aktif adalah logam tembaga (Cu), Seng (Zn) dan Aluminium (Al) yang ketiganya berasal dari garam nitratnya $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$, $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$. Dan $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$. Gas-gas yang dibutuhkan sebagai reaktan hidrogen (H_2) grade Ultra High Purity (UHP), karbon monoksida (CO) grade HP dan nitrogen (N_2) grade High Purity (HP). Penelitian dilakukan melalui 2 tahap

yaitu tahap preparasi katalis dan uji konversi gas sintesis.

Tahap Preparasi Katalis;

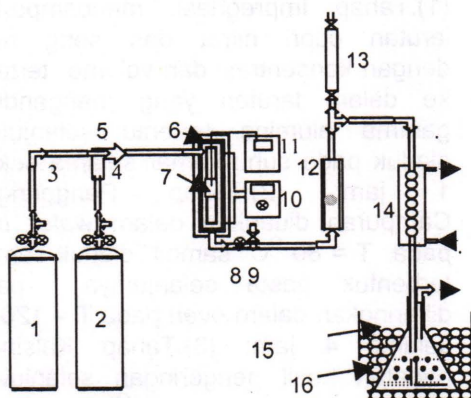
Preparasi katalis dilakukan dalam 4 tahap, yaitu :

(1).Tahap Impregnasi; mencampurkan larutan cupri nitrat dan seng nitrat dengan konsentrasi dan volume tertentu ke dalam larutan yang mengandung gamma alumina tertentu selanjutnya diaduk pada suhu kamar selama sekitar 1 jam; (2).Tahap Pengeringan; Campuran diuapkan dalam *water bath* pada $T = 80^\circ\text{C}$ sambil diaduk sampai terbentuk pasta selanjutnya pasta dikeringkan dalam oven pada $T = 120^\circ\text{C}$ 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 $100 \text{ ml}/\text{menit}$; (4).Tahap Reduksi, Padatan hasil kalsinasi selanjutnya dialiri dengan gas H_2 dengan kecepatan $100 \text{ ml}/\text{menit}$ pada $T = 230^\circ\text{C}$ selama 4 jam. Reduksi dimaksudkan untuk mengubah oksid logam menjadi logam aktif. Katalis yang sudah dibuat selanjutnya diuji dengan instrumen AAS (*Atomic Absorption Spectrum*) untuk mementukan adanya logam-logam aktif yang terimpregnasi dan selanjutnya diuji dengan ICPS (*Inductively Coupled Plasma Spectrometer*) untuk menentukan prosent loading logam aktif dalam katalis.

Tahap uji konversi gas sintesis

Skema peralatan untuk konversi gas sintesis menjadi DME ditunjukkan pada Gambar 1. Konversi gas sintesis menjadi DME dilaksanakan dalam reaktor unggun tetap bertekanan dengan kondisi; perbandingan mol $\text{H}_2/\text{CO}=2/1$; kecepatan aliran umpan total bervariasi (diukur pada tekanan 1 atm); suhu reaksi $240\text{-}300^\circ\text{C}$; berat katalis 3 gram, dan tekanan 40 bar. Diameter dalam reaktor 10 mm terbuat dari *stainless stell* 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 (*Thermal*

Conductivity Detector) untuk menganalisis CO dan H₂. GC dengan tipe packing Porapaq-Q dengan detector FID (Flame Ionization Detector) untuk menganalisis DME, metana dan penyusun lain yang terbentuk.



Keterangan Gambar

- | | |
|--------------------------------------|---------------------|
| 1. Tabung gas CO | 9. Safety valve |
| 2. Tabung gas hidrogen | 10. Indikator suhu |
| 3. Metering Valve gas CO | 11. Pengendali suhu |
| 4. Metering Valve gas H ₂ | 12. Rotameter |
| 5. Pencampur gas H ₂ &CO | 13. Tabung sampler |
| 6. Reaktor | 14. Pendingin Bola |
| 7. Tempat katalis | 15. Ice Bath |
| 8. Indikator tekanan | 16. Penyerap gas |

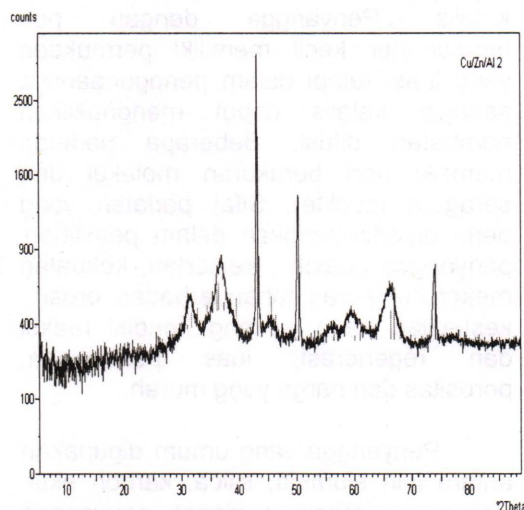
Gambar 1. Rangkaian Alat Konversi Gas sintesis Menjadi DME

PEMBAHASAN

Pada Gambar 2 ditunjukkan difraktogram katalis Cu-Zn-Al₂O₃. Keberadaan logam Cu ditunjukkan oleh puncak-puncak pada sudut 2θ berturut-turut adalah 43,22714° dengan IR = 100 %; 50,37309° dengan IR = 34,52%; dan 73,95349° dengan IR = 15,28 %. Keberadaan logam Zn terdapat dalam bentuk Zincite (ZnO) ditunjukkan oleh puncak pada sudut 2θ adalah 31,51265° dengan IR = 6,61% dan 36,21601° dengan IR = 9,95%. Selain itu keberadaan logam Al yang terdapat dalam bentuk Al₂O₃ ditunjukkan oleh puncak pada sudut 2θ adalah 37,02611° dengan IR = 12,35%.

Dari uji katalis dengan instrumen AAS (Atomic Absorption Spectrum) tipe

ICPS (Inductively Coupled Plasma Spectrometer), katalis ini memiliki percent



Gambar 2. Difraktogram katalis Cu-Zn-Al₂O₃

tabel 4 berikut.

Tabel 4. Percent Loading (PL) Katalis Cu-Zn-Al₂O₃

Jenis Katalis	Percent Loading Cu, %	Percent Loading Zn, %	Percent Loading Al, %
Cu-Zn-Al ₂ O ₃	11	1,74	2,0

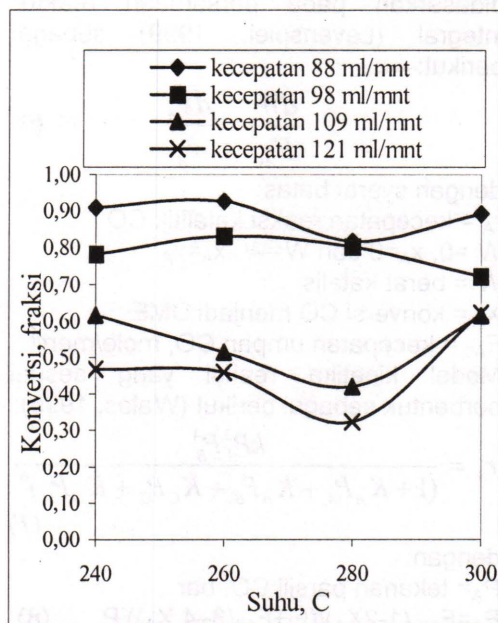
Hasil analisa logam diatas diperoleh dari impregnasi teoritis sebesar 12 % untuk Cu, 3 % untuk Zn dan 3 % untuk logam Al. Dari metode yang dipilih ini ternyata didapat kehilangan logam kurang lebih 10 % dari jumlah teoritis yang dikehendaki.

Eksperiment hasil uji kinerja katalis Cu-Zn-Al₂O₃. yang didapat dari impregnasi diatas pada kondisi suhu reaksi berkisar dari 240-300°C, tekanan 40 Bar dan kecepatan aliran umpan gas berkisar 88-121ml/menit (diukur pada tekanan 30°C dan 1 Bar), ditampilkan sebagai hubungan antara suhu terhadap konversi dan hubungan antara suhu terhadap selektivitas untuk berbagai kecepatan

gas disajikan dalam Tabel 5 dan Tabel 6, Gambar 3 dan Gambar 4 di bawah ini.

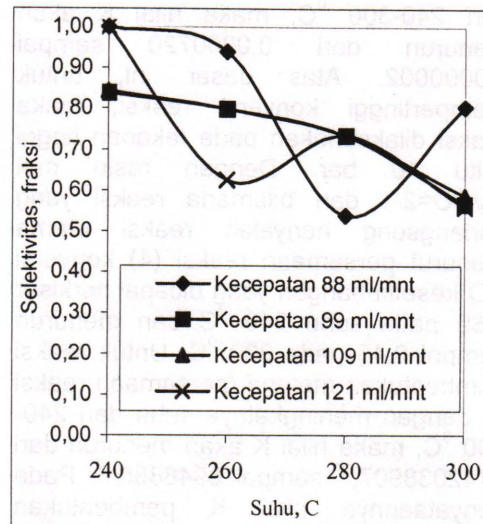
Tabel 5. Hubungan suhu Terhadap konversi CO untuk berbagai kecepatan aliran umpan

Suhu, °C	Kecepatan Aliran Umpan, ml/men			
	88	98	109	121
	Konver si,	Konver si,	Konver si,	Konver si,
240	0,910	0,781	0,617	0,470
260	0,926	0,832	0,515	0,460
280	0,818	0,802	0,421	0,325
300	0,892	0,721	0,615	0,622



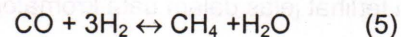
Gambar 3. Hubungan antara suhu terhadap konversi untuk berbagai kecepatan aliran umpan

Dari Tabel 5 dan Gambar 3 untuk aliran gas umpan 88 sampai dengan 121 ml/menit, makin tinggi suhu reaksi (dari kisaran 240 sampai 300 °C) konversi CO bervariasi dari 0,926 menurun sampai 0,325. Dari grafik terdapat beberapa kurva yang kurang konsisten dengan penurunan ini terutama pada kecepatan gas 88 ml/menit setelah suhu 280 °C.



Gambar 4. Hubungan antara suhu terhadap selektivitas untuk berbagai kecepatan aliran umpan

Hal ini menunjukkan bahwa reaksi pembentukan DME bukan reaksi tunggal, melainkan reaksi simultan, disertai dengan adanya reaksi samping yaitu pembentukan metana menurut persamaan reaksi berikut:



Kecepatan aliran umpan dalam reaktor erat kaitannya dengan waktu tinggal dan kinetika reaksi katalitik, sedangkan suhu erat kaitannya dengan sifat termodinamika kesetimbangan reaksi kimia.

Ditinjau dari segi termodinamika kesetimbangan kesetimbangan kimia, hal ini dapat diterangkan sebagai berikut. Dari nilai energi bebas Gibbs (ΔG) pembentukan standar, diketahui bahwa nilai ΔG pembentukan untuk reaksi $\text{CO} + 3\text{H}_2 \leftrightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ($\Delta G = -33,98$ kcal/gmole) adalah lebih kecil daripada ΔG pembentukan untuk reaksi $2\text{CO} + 4\text{H}_2 \leftrightarrow \text{CH}_3\text{OCH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ($\Delta G = -16,01$ kcal/gmole). Nilai nilai ΔG tersebut dapat dipakai untuk memprediksi tetapan kesetimbangan K dan selanjutnya dapat dipakai untuk memperkirakan konversi kesetimbangan (Smith, Van Ness dan Abbott, 2001). Untuk reaksi pembentukan DME (sesuai persamaan reaksi 4), dengan meningkatnya suhu

dari 240-300 °C, maka nilai K akan menurun dari 0,0000720 sampai 0,0000002. Atas dasar ini, untuk mempertinggi konversi reaksi, maka reaksi dilaksanakan pada tekanan tinggi yaitu 40 bar. Dengan rasio mol $H_2/CO=2/1$ dan bilamana reaksi yang berlangsung hanyalah reaksi utama menurut persamaan reaksi (4) konversi CO kesetimbangan yang dicapai berkisar 0,89 pada suhu 240 °C dan menurun sampai 0,45 pada 300 °C. Untuk reaksi pembentukan metana (persamaan reaksi 5) dengan meningkatnya suhu dari 240-300 °C, maka nilai K akan menurun dari 2142038907,1 sampai 8948885,6. Pada kenyataannya nilai K pembentukan metana jauh lebih besar daripada nilai K pembentukan DME. Oleh karenanya untuk mencegah reaksi pembentukan metana ditempuh dengan menjaga rasio mol $H_2/CO=2/1$ dan memilih katalis yang selektif. Berdasarkan tabel 5 dan gambar 3 konversi CO total yang dicapai melebihi konversi kesetimbangannya untuk berbagai suhu, ini menunjukkan adanya reaksi samping pembentukan metana. Adanya metana dalam produk ini terlihat jelas dalam data kromatogram.

Pada gambar 4 terlihat hubungan antara pengaruh suhu reaksi terhadap selektivitas untuk berbagai kecepatan aliran produk. Dari gambar tersebut (dapat dilihat pula dari Table 6) terlihat bahwa makin tinggi suhu, selektivitas DME makin kecil dari yang tertinggi 1 sampai 0,561. Hal ini sebagai akibat adanya reaksi samping pembentukan metana sebagaimana diuraikan di atas.

Tabel 6. Hubungan Suhu terhadap selektivitas DME untuk berbagai kecepatan aliran umpan

Suhu °C	Kecepatan aliran umpan, ml/menit			
	88	98	109	121
	Selektivitas	Selektivitas	Selektivitas	Selektivitas
240	1,000	0,838	1,000	0,844
260	0,940	0,800	0,799	0,626
280	0,539	0,735	0,735	0,735
300	0,805	0,568	0,588	0,561

Sebagaimana disebutkan di atas berdasarkan tabel 5 dan gambar 6 bahwa untuk suhu tertentu makin tinggi

kecepatan aliran, maka konversi reaksi menurun. Hal ini disebabkan makin tinggi kecepatan aliran waktu tinggal reaktan dalam reaktor akan menurun sehingga kesempatan untuk diadsorpsi oleh permukaan katalis dan selanjutnya kesempatan untuk bereaksi dipermukaan katalis juga makin kecil serta kecepatan desorpsi produk reaksi dari permukaan katalis ke *bulk gas* juga makin kecil. Dengan demikian kecepatan pembentukan produk juga makin kecil.

Data tabel 5 dapat diolah untuk mencari persamaan kinetika reaksi didasarkan pada persamaan reaktor integral (Levenspiel, 1999) sebagai berikut:

$$\frac{dW}{F_{A0}} = \frac{dx_A}{r_A} \quad (6)$$

dengan syarat batas:

r_A = kecepatan reaksi katalitik CO

$W=0, x_A=0$ dan $W=W, x_A=x_A$

W = berat katalis

X_A = konversi CO menjadi DME

F_{A0} = kecepatan umpan CO, mole/menit

Model kinetika reaksi yang sesuai berbentuk sebagai berikut (Walas, 1995):

$$r_A = \frac{kP_A^2P_B^4}{(1 + K_A P_A + K_B P_B + K_C P_C + K_D P_D)^6} \quad (7)$$

dengan:

P_A = tekanan parsial CO, bar

$P_A = F_{A0} \cdot (1 - 2X_A) / (F_1 + F_{A0}(3 - 4X_A)) \cdot P$ (8)

P_B = tekanan parsial H_2 , bar

$P_B = 2 \cdot F_{A0} \cdot (1 - 2X_A) / (F_1 + F_{A0}(3 - 4X_A)) \cdot P$ (9)

P_C = tekanan parsial DME, bar

$P_C = F_{A0} \cdot X_C / (F_1 + F_{A0}(3 - 4X_A)) \cdot P$ (10)

P_D = tekanan parsial H_2O , bar

P_I = tekanan parsial inert ($N_2 + Ar$), bar (11)

k = tetapan kecepatan reaksi permukaan

K_A = tetapan kecepatan adsorpsi CO

K_B = tetapan kecepatan adsorpsi H_2

K_C = tetapan kecepatan desorpsi DME

K_D = tetapan desorpsi H_2O

Konversi CO yang tercantum dalam tabel 5 pada dasarnya adalah konversi CO total, sehingga untuk menentukan persamaan reaksi katalitik perlu diubah ke konversi CO yang menjadi DME saja (tidak termasuk CO yang berubah menjadi CH_4)

sebagaimana tersebut dalam tabel 7 berikut:

Tabel 7. Hubungan Antara Kecepatan Umpan CO dan Konversi CO menjadi DME

F _{A0} , g mol/ men	240 °C	260 °C	280 °C	300 °C
0,051	0,897	0,822	0,573	0,795
0,057	0,713	0,807	0,680	0,522
0,063	0,430	0,457	0,357	0,455
0,071	0,624	0,352	0,275	0,447

Nilai k, K_A, K_B, K_C, dan K_D dalam persamaan (7) dapat dievaluasi dengan cara optimasi Hooke-Jeves berdasarkan persamaan (6) tersebut di atas. Sebagai *objective function* dari optimasi adalah (X_A-X_{A terhitung})² yang minimum. Hasil evaluasi tersebut ditunjukkan dalam tabel 8 berikut:

Tabel 8. Nilai k, K_A, K_B, K_C dan K_D Hasil Optimasi Pada Berbagai Suhu

T*)	k	K _A	K _B	K _C	K _D
240	1,24	0,50	0,65	0,47	0,48
260	1,14	0,58	0,69	0,44	0,45
280	1,06	0,65	0,76	0,49	0,49
300	1,17	0,50	0,65	0,61	0,61

*) Suhu, °C

Tetapan-tetapan sebagaimana tercantum dalam tabel 8 nilainya bervariasi menurut suhu reaksi.

KESIMPULAN

Dari beberapa uraian di atas, maka beberapa kesimpulan dapat dibuat dari penelitian ini. yaitu:

1. Katalis dengan paduan logam aktif Cu, Zn dan Al terimpregnasi diatas Alumina dapat mengkonversi Gas sintesis menjadi DME . Metode serta prosent loading masing- masing logam berpengaruh terhadap konversi dan selektivitas reaksi.
2. Untuk aliran umpan gas dari 88 sampai dengan 121 ml/menit, makin tinggi suhu dari 240 sampai 300 °C konversi reaksinya akan menurun secara bervariasi antara 0,926-0,325;

3. Untuk berbagai kecepatan aliran produk makin tinggi suhu, maka selektivitas DME yang terbentuk akan menurun dari yang tertinggi 1 sampai 0,561;
4. Model kinetika reaksi katalitik yang sesuai untuk konversi gas sintesis menjadi DME mengikuti persamaan:

$$r_A = \frac{kP_A^2P_B^4}{(1 + K_AP_A + K_BP_B + K_CP_C + K_DP_D)^6}$$

DAFTAR PUSTAKA

- EIA, 2002, *International Energy Outlook 2002*,
<http://www.eia.doe.gov/oiaf/index.html>
- Cheng, W. and Kung, H.H., 1994, *Ethanol Production and Use*, 1 ed., pp.1-132, Marcell and Dekker Inc., New York.
- Ge, Q., Huang, Y., Qui, F., and Li, S., Bifunctional Catalysts for Conversion of Synthesis Gas to DME, *Applied Catalysis A: General*, 167, 1998, hal 23-30
- Levenspiel, O., 1999, "Chemical Reaction Engineering", 3 ed., pp.396-400, John Wiley and Sons Inc., New York
- Li, J.L, Zhang, XG and Inui, T., Improvement in the Catalyst Activity for Direct Synthesis of DME from Synthesis Gas Through Enhancing the Dispersion of CuO/ZnO/γ-Al₂O₃ in Hybrid Catalysts, *Applied Catalysis A: General*, 147, 1998, hal 23-33
- Ohno, Y., 2002, Mew Clean Fuel Dimethyl Ether (DME) Synthesis Technology, Paper of Seminar about DME in ITS, Surabaya, April 29, 2002, 1-27
- Omata, K., Watanabe, Y., Umegaki, T., Ishiguro, G., Yamada, M., Low Pressure DME Synthesis With Cu-Based Hybrid Catalysts Using Temperature Gradient, *Reactor Fuel*, 81, 2002, hal 1605-1609
- Priyanto, U. dan Bakri, SK., 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, 2002, hal.1-10

- Smith, J.M., Van Ness, H.C. and Abbott, M.M., 2001, *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*, 6 ed., pp.467-509, McGraw-Hill Book Co., Singapore
- Sofianos, AC. and Scurrel, M.S., Conversion of Synthesis Gas to DME over Bifunctional Catalytic Systems, *Ind. Eng. Chem. Res.* 30, 1991, hal 2372-2378
- Sun, K., Lu, W., Qui, F., Liu, S., Xu, X., Direct Synthesis of DME over Bifunctional Catalysts Surface Properties and Catalytic Performance; *Applied Catalysis A., General* 252, 2003, hal 243-249
- Takeguchi, T., Yanagisawa, K., Inui, T. and Inoue, M., Effect of The Property of Acid Upon Syngas-to-DME Conversion on Hibrid Catalysts of Cu-Zn-Ga and Solid Acids, *Applied Catalysis A., General*, 192, 2000, hal 201-209
- Walas, S.M., 1995, "Chemical Reaction Engineering Handbook of Solved Problems", pp.639-706, Gordon and Breach Publishers, Amsterdam
- Xu, M, Goodman, DW. And Bhattacharyya, A., 1997, Catalytic Dehydration of Methanol to Dimethyl Ether (DME) over Pd/Cab-I-Sil Catalyst, *Applied Catalysis A: general* 149, 303-309

sebagai variabel dalam tabel berikut

Tabel 5. Hubungan Antara Kecepatan Umpan CO dan Konversi DME

T_{reaksi} mol men	240 °C	260 °C	280 °C	300 °C
0,081	0,887	0,832	0,878	0,798
0,087	0,713	0,807	0,880	0,822
0,093	0,430	0,497	0,387	0,452
0,071	0,624	0,303	0,278	0,447

Nilai K_a , K_b , K_c dan K_d dalam persamaan (7) dapat dievaluasi dengan cara optimasi Hooke-Jeeves berdasarkan persamaan (6) tersebut di atas. Sebagai objective function dan optimasi adalah (X_{baru}), yang minimum. Hasil evaluasi tersebut ditunjukkan dalam tabel 6 berikut.

Tabel 6. Nilai K_a , K_b , K_c dan K_d Hasil Optimasi Pada Berbagai Suhu

T (°C)	K_a	K_b	K_c	K_d
240	1,34	0,50	0,52	0,48
260	1,14	0,58	0,59	0,48
280	1,08	0,58	0,70	0,49
300	1,17	0,50	0,62	0,61

(Suhu, °C)

Tetapan-tetapan sebagai berikut tercantum dalam tabel 8 nilainya diberikan menurut suhu reaksi.

KESIMPULAN

Dari beberapa uraian di atas, maka beberapa kesimpulan dapat dibuat dari penelitian ini yaitu:

1. Katalis dengan beban logam aktif Cu, Zn dan Al lebih disukai dalam sintesis DME. Metode reaksi prosent loading masing-masing logam berpengaruh terhadap konversi dan selektivitas reaksi.

2. Untuk aliran umpan gas dan 88 sampel dengan 121 ml/min, maka tinggi suhu dan 240 sampai 300 °C konversi reaksinya akan menurun secara persentase antara 0,325-0,825.