

KINETIKA REAKSI KATALITIK KONVERSI SYNGAS MENJADI DIMETHYL ETHER

by Suratno Lourentius

FILE	7P-KINETIKA_REAKSI_OCR.PDF (1.28M)	WORD COUNT	3161
TIME SUBMITTED	23-AUG-2019 12:52PM (UTC+0700)	CHARACTER COUNT	18879
SUBMISSION ID	1162606429		



KINETIKA REAKSI KATALITIK KONVERSI SYNGAS MENJADI DIMETHYL ETHER

Suratno Lourentius

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Katolik Widya Mandala
Jl. Kalijudan 37, Surabaya 60114, Telp.(031)3891264 ext.128, Fax.(031)3891267
E-mail: suratno.lourentius@yahoo.co.id; ratno@mail.wima.ac.id

Abstrak

Cadangan gas bumi Indonesia sebesar 182 TCF yang masih bisa dimanfaatkan selama sekitar 61 tahun. Cadangan tersebut perlu dimanfaatkan secara efisien langsung sebagai bahan bakar ataupun diubah terlebih dahulu menjadi senyawa lain, misal dimethyl ether (DME). DME dimanfaatkan sebagai bahan bakar ramah lingkungan ataupun bahan baku industri kimia. Telah diteliti sintesis DME dari syngas dengan katalis Cu-Zn-Al/ γ -Alumina. Reaksi tersebut dilaksanakan dalam reaktor unggun tetap (fixed bed) dengan kondisi: rasio mol karbon monoksida (CO=A) terhadap hidrogen ($H_2=B$) dalam umpan=1/2, kecepatan molar karbon monoksida dalam umpan: 0,00117-0,00160 gmol/menit, suhu 240-300°C dan tekanan=40 atm. Reaksi berlangsung menurut persamaan: $2CO(A)+4H_2(B)\leftrightarrow CH_3OCH_3(C)+H_2O(D)$. Ditinjau dari mekanisme reaksinya ada tiga langkah yaitu adsorpsi reaktan, reaksi permukaan dan desorpsi produk reaksi. Disimpulkan bahwa langkah yang mengendalikan kecepatan reaksi adalah langkah desorpsi produk. Kecepatan reaksi katalitik yang paling sesuai adalah: $r_A=2k_{CD}P_C/(K_A P_A+K_B P_B+K_C P_C+K_D P_D)$ gmol CO bereaksi/menit.g-katalis. k_{CD} , K_A , K_B , K_C dan K_D masing-masing adalah konstanta desorpsi dan tetapan-tetapan kesetimbangan. P adalah tekanan parsial. Untuk katalis Cu-Zn-Al/ γ -Al₂O₃ dengan loading Cu=11,00%, Zn=1,74% dan Al=2,00%, nilai konstanta dalam model tersebut adalah k_{CD} berkisar dari 0,00059-0,00039; K_A berkisar dari 0,0007- 0,0003; K_B berkisar dari 0,0005-0,0003; K_C berkisar dari 1,5868-0,8498 dan K_D berkisar dari 1,2413-0,6240.

Kata kunci: dimethyl ether; katalis; kinetika reaksi; syngas

Abstract

Resource of natural gas in Indonesia about 182 TCF that can be used for about 61 years. Those resource should be efficiently used by directly or initially changed to other compound, such as dimethyl ether (DME). DME be used as environment friendly fuel or chemical industrial raw material. Have been carried out the experiment of synthesis of dimethyl ether from syngas over Cu-Zn-Al/ γ -Alumina catalyst. Reaction was run in fixed bed reactor at process conditions: carbon monoxide (CO=A) toward hydrogen ($H_2=B$) molar ratio was 1/2, flow rate of carbon monoxide ranging: 0.00117-0.00160 gmol/minute, temperature 240-300°C and pressure=40 atm. The reaction follows $2CO(A)+4H_2(B)\leftrightarrow CH_3OCH_3(C)+H_2O(D)$. Based on reaction mechanism there were three steps: reactants adsorption, surface reaction and product desorption. Be concluded that step of product desorption controlling the reaction rate. Catalytic reaction rate that agree with process was $r_A=2k_{CD}P_C/(K_A P_A+K_B P_B+K_C P_C+K_D P_D)$ gmol reacted CO/minute. g-catalyst. k_{CD} , K_A , K_B , K_C dan K_D respectively were desorption constant and equilibrium constants. P was partial pressure. For Cu-Zn-Al/ γ -Al₂O₃(l) catalyst with metal loading of Cu=11.00%, Zn=1.74% and Al=2.00%, values of constants in model were k_{CD} ranging 0.00059-0.00039; K_A ranging 0.0007- 0.0003; K_B ranging 0.0005-0.0003; K_C ranging 1.5868-0.8498 and K_D ranging 1.2413-0.6240.

Key words: catalyst; dimethyl ether; reaction kinetics; syngas

Pendahuluan

Cadangan minyak bumi terbukti (proven reserves) di Indonesia saat ini diperkirakan sebesar 9 miliar barel. Dengan tingkat produksi rata-rata sebesar 500 juta barel per tahun, maka jika tidak ditemukan cadangan baru, cadangan tersebut akan habis dalam waktu kurang lebih 18 tahun. Sedangkan untuk gas bumi, cadangannya masih cukup besar yakni 182 triliun kaki kubik, maka cadangan gas bumi masih tersisa selama kurang lebih 61 tahun. Demikian juga dengan batu bara, dari total perkiraan cadangan sebesar 57 miliar ton

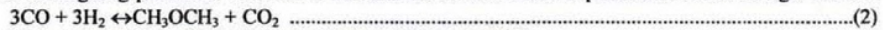
dengan tingkat produksi sebesar 130 juta ton per tahun. maka cadangan barubara diperkirakan akan habis selama kurang lebih 147 tahun (Yusgiantoro, 2005). Pemanfaatan gas alam yang merupakan bagian dari gas bumi memiliki keunggulan dibandingkan dengan minyak bumi dan batu bara, karena gas hasil pembakarannya yang lebih bersih. (Priyanto dan Bakri, 2002). Penjualan gas alam dalam fase cair (*Liquified Natural Gas*: 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* (GTL) yang merupakan konversi gas alam ke gasoline dan konversi gas alam ke syngas terlebih dahulu dan selanjutnya syngas dapat dikonversi ke dimethyl ether (DME) dapat meningkatkan pemanfaatan gas alam. Dalam satu dasa warsa terakhir sedang dikembangkan sintesis dimethyl ether dari gas alam, minyak bumi dan batu bara. Dimethyl ether dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, antara lain sebagai: solven berbagai industri parfum, bahan bakar alternatif pengganti minyak diesel yang ramah lingkungan dan bahan dasar industri kimia. Sifat-sifat yang dimiliki dimethyl ether hampir sama dengan sifat-sifat yang dimiliki minyak diesel khususnya dalam hal nilai angka setana (*cetane number*). Dengan demikian, pada masa mendatang, dimethyl ether diharapkan dapat mensubstitusi penggunaan minyak diesel dengan harga yang cukup kompetitif.

Reaksi pembentukan DME satu tahap dari syngas berlangsung menurut persamaan reaksi:
 $2CO + 4H_2 \leftrightarrow CH_3OCH_3 + H_2O$ atau $2A + 4B \leftrightarrow C + D$(1)

Reaksi tersebut berlangsung dalam fase gas dengan panas reaksi dan energi bebas Gibbs pada 600^oK adalah $\Delta H_{600K} = -35,31 \text{ kJ/mole}$ dan $\Delta G_{600K} = +79,97 \text{ kJ/mol}$. Terdapat beberapa publikasi hasil penelitian tentang konversi syngas membentuk DME antara lain sebagaimana disebutkan berikut.

Sun dkk. (2003) telah mempelajari sintesis langsung dimethyl ether dengan katalis bifungsional. Metode preparasi katalis yang diterapkan *coprecipitating sedimentation method*. Kondisi operasi yaitu komposisi umpan 30% CO, 3% CO₂ dan 67% H₂ dan kondisi reaktor 30 atm, suhu 250^oC dan space velocity (SV) = 1.500 jam⁻¹. Pada kondisi tersebut dicapai selektivitas DME=0,831 dan konversi CO=0,728.

Sementara itu konversi syngas menjadi DME telah dilakukan dalam skala komersial di industri, misalnya oleh NKK Corporation Jepang dengan kapasitas 5 ton/hari. Reaksi konversi syngas menjadi DME tersebut berlangsung pada suhu 250-280^oC dan tekanan 50 atm menurut persamaan reaksi sebagai berikut:



memberikan konversi CO yang berkisar dari 0,45-0,65 (Ohno, 2002).

Berdasarkan persamaan reaksi (1) ditinjau langkah-langkah yang menentukan sebagai berikut:

1. Adsorpsi gas CO (=A) dari badan gas ke permukaan katalis (=S):



dengan persamaan kecepatan adsorpsi A pada permukaan katalis:

$$r_A = k_A P_A C_S - k'_A C_{AS} = (P_A C_S - \frac{C_{AS}}{K_A})$$
.....(4)

2. Adsorpsi gas H₂ (=B) dari badan gas ke permukaan katalis:



dengan persamaan kecepatan adsorpsi B pada permukaan katalis:

$$r_B = k_B P_B C_S - k'_B C_{BS} = k_B (P_B C_S - \frac{C_{BS}}{K_B})$$
(6)

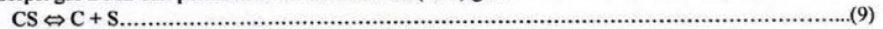
3. Reaksi CO teradsorpsi (AS) dan gas H₂ teradsorpsi (BS) membentuk DME teradsorpsi (CS) dan H₂O teradsorpsi (DS) pada permukaan katalis.



dengan persamaan kecepatan reaksi permukaan sebagai berikut:

$$r_S = k_S C_{AS}^2 C_{BS}^4 - k'_S C_{CS} C_{DS} C_S^4 = k_S (C_{AS}^2 C_{BS}^4 - \frac{C_{CS} C_{DS} C_S^4}{K_S})$$
.....(8)

4. Desorpsi gas DME dari permukaan katalis ke badan (*bulk*) gas:



dengan persamaan kecepatan desorpsi:

$$r_C = k'_C C_{CS} - k_C P_C C_S = k'_C (C_{CS} - K_C P_C C_S)$$
.....(10)

5. Desorpsi gas H₂O teradsorpsi (DS) dari permukaan katalis ke badan gas:



dengan persamaan kecepatan desorpsi:

$$r_D = k'_D C_{DS} - k_D P_D C_S = k'_D (C_{DS} - K_D P_D C_S)$$
(12)

Beberapa Kemungkinan Bentuk (Model) Persamaan Kecepatan:

1. Jika langkah reaksi kimia permukaan merupakan langkah yang menentukan, dapat dijabarkan persamaan:

$$r_s = \frac{k \left(P_A^2 P_B^4 - \frac{P_C P_D}{K_p} \right)}{\left(1 + K_A P_A + K_B P_B + K_C P_C + K_D P_D \right)^6} = r_A \dots\dots\dots(13)$$

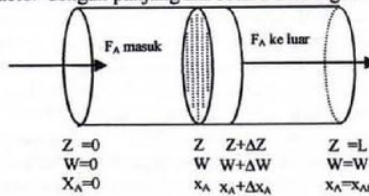
2. Jika langkah adsorpsi gas CO ke permukaan katalis merupakan langkah yang menentukan, dapat dijabarkan persamaan:

$$r_A = \frac{k_{AA} P_A}{\left(1 + K_1 P_A + K_B P_B + K_C P_C + K_D P_D \right)} \dots\dots\dots(14)$$

3. Jika langkah desorpsi DME merupakan langkah yang menentukan, dapat dijabarkan persamaan:

$$r_A = \frac{2k_{CD} P_C}{\left(1 + K_A P_A + K_B P_B + K_3 P_C + K_D P_D \right)} \dots\dots\dots(15)$$

Elemen volume *fixed bed reactor* dengan panjang ΔZ secara sket digambarkan dalam Gambar 1



Gambar 1. Elemen Volume *Fixed Bed Reactor*

Berdasarkan neraca massa untuk reaktan A dalam elemen volume reaktor dengan berat katalis ΔW dalam keadaan mantap dapat dijabarkan persamaan diferensial ordiner berikut (Levenspiel, 1999):

$$\frac{dW}{F_{A0}} = \frac{dx_A}{r_A} \dots\dots\dots(16)$$

dengan kondisi batas: $W = 0, x_A = 0$ dan $W = W, x_A = x_{Af}$

dengan: W = berat katalis, g; F_{A0} = kecepatan mol umpan CO, mol/men; x_{A0} = konversi CO menjadi DME pada saat masuk reaktor; x_{Af} = konversi CO menjadi DME pada saat ke luar reaktor.

Penyelesaian dari persamaan diferensial (16) dan kondisi batasnya adalah:

$$\frac{W}{F_{A0}} = \int_{x_{A0}}^{x_{Af}} \frac{dx_A}{r_A} \dots\dots\dots(17)$$

Persamaan (17) dapat diselesaikan secara numerik salah satunya dengan metode Runge-Kutta.

Hubungan antara tekanan parsial dengan konversi reaksi dan tekanan total adalah:

$$P_A = \frac{F_{A0} (1 - x_A)}{F_{A0} (3 - 2x_A) + F_I} P; \quad P_B = \frac{2F_{A0} (1 - x_A)}{F_{A0} (3 - 2x_A) + F_I} P; \quad P_C = \frac{0,5 F_{A0} x_A}{F_{A0} (3 - 2x_A) + F_I} P$$

$$P_D = \frac{0,5 F_{A0} x_A}{F_{A0} (3 - 2x_A) + F_I} P \dots\dots\dots(18,19,20,21)$$

Dari data penelitian berupa hubungan antara kecepatan umpan reaktan A masuk reaktor (F_{A0}), berat katalis dalam reaktor (W) dan konversi CO menjadi DME ke luar reaktor (x_{Af}) untuk setiap suhu yang diteliti, dapat dicari konstanta-konstanta dalam ketiga model kinetika katalitik yang diajukan

Untuk model 1, konstanta-konstanta tersebut adalah k, K_A, K_B, K_C dan K_D . Konstanta kesetimbangan dalam term tekanan, K_p , dicari terlebih dahulu berdasarkan prinsip kesetimbangan termodinamika. Sedangkan, untuk model 2, konstanta-konstanta tersebut adalah k_{AA}, K_1, K_B, K_C dan K_D . Dan akhirnya, untuk model 3, konstanta-konstanta tersebut adalah k_{CD}, K_A, K_B, K_3 dan K_D .

Menurut Sediawan dan Prasetyo (1997) evaluasi konstanta-konstanta dalam sebuah persamaan dapat dilaksanakan dengan optimasi multi-variabel salah satunya dengan metode Hooke-Jeeves. Konstanta-konstanta dalam model kinetika katalisis dievaluasi berdasarkan persamaan (17).

Jika persamaan terakhir diterapkan untuk setiap model yang diuji, maka *objective function* dapat diekspresikan ke dalam 3 persamaan SSE yang mirip sebagai berikut:

$$\text{Model 1. } SSE = \sum_{i=1}^n (x_{Adata} - x_{Asimulasi})^2 = f(k, K_A, K_B, K_C, K_D) \dots (22)$$

$$\text{Model 2. } SSE = \sum_{i=1}^n (x_{Adata} - x_{Asimulasi})^2 = f(k_{AA}, K_1, K_B, K_C, K_D) \dots (23)$$

$$\text{Model 3. } SSE = \sum_{i=1}^n (x_{Adata} - x_{Asimulasi})^2 = f(k_{CD}, K_A, K_B, K_3, K_D) \dots (24)$$

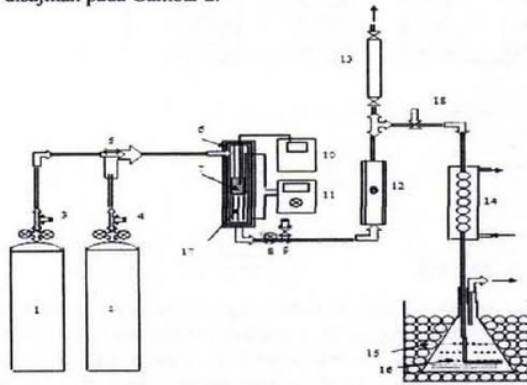
Bahan dan Metode Penelitian

Preparasi katalis dilakukan dengan merujuk pada Shikada dkk. (2000) melalui tahap kegiatan yaitu:

1. Tahap Impregnasi. Mencampurkan larutan kupri nitrat, seng nitrat dan aluminium nitrat dengan konsentrasi dan volum tertentu ke dalam larutan gamma alumina dengan berat tertentu dan diaduk 1 jam;
2. Tahap Pengeringan. Campuran diuapkan dalam water bath pada T = 80 °C sambil diaduk sampai terbentuk pasta. Pasta dikeringkan dalam furnace pada suhu = 120 °C selama 14 jam;
3. Tahap Kalsinasi. Padatan hasil pengeringan selanjutnya dikalsinasi pada suhu 350 °C selama ± 6 jam sambil dialiri gas N₂ dengan kecepatan 100 mL/menit;
4. Tahap Reduksi. Padatan hasil kalsinasi selanjutnya direduksi dengan dialiri gas H₂ dengan kecepatan 100 mL/menit pada suhu 230 °C selama 4 jam.

Katalis yang sudah dibuat diuji dengan peralatan XRD untuk mengetahui keberadaan logam aktif yang terimpregnasikan dalam penyangga dan diuji dengan AAS untuk menentukan persen logam aktif dalam katalis. Setelah uji katalis Cu-Zn-Al/γ-Al₂O₃ memiliki metal loading: Cu=11,00%, Zn=1,74% dan Al=2,00%

Syntesis syngas menjadi dimethyl ether dilaksanakan dalam reaktor unggun tetap dengan kondisi; perbandingan mol H₂/CO=2/1; kecepatan aliran total 80-183 mL/menit suhu reaksi 220-300 °C; berat katalis 3 gram dan tekanan 40 bar. Diameter dalam reaktor 9 mm terbuat dari pipa kaca pyrex panjang reaktor 300 mm. Pipa kaca pyrex diperkuat dengan pipa stainless stell dengan diameter 12,7 mm di bagian luarnya. Reaktor dilengkapi dengan jaket pemanas dari kawat nikelin 750 watt. Peralatan untuk sintesis DME disajikan pada Gambar 2.



Keterangan Gambar:

1. Tabung gas karbon monoksida (CO)
2. Tabung gas hidrogen (H₂)
3. Metering Valve gas CO
4. Metering Valve gas H₂
5. Pencampur gas H₂ dan CO
6. Reaktor dilengkapi dengan pemanas
7. Katalis
8. Indikator tekanan
9. Safety valve
10. Indikator suhu
11. Pengendali suhu
12. Rotameter untuk aliran gas
13. Tabung sampler
14. Pendingin Bola
15. Ice Bath
16. Penyerap gas hasil reaksi
17. Glass Wool
18. Keran

Gambar 2. Rangkaian Alat Sintesis DME

Hasil dan Pembahasan

Data hubungan antara suhu terhadap terhadap konversi CO yang khusus membentuk DME pada berbagai kecepatan umpan CO untuk katalis Cu-Zn-Al/γ-Alumina(2) ditunjukkan dalam Tabel 1 berikut:

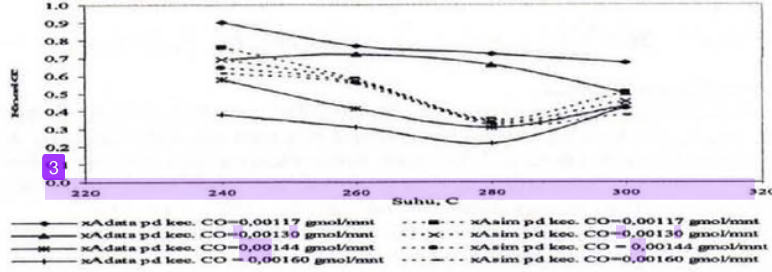
Tabel 1. Hubungan Suhu Terhadap Konversi CO Untuk Berbagai Kecepatan CO

Suhu. °C	F _{A0} gmol/menit			
	0,00117	0,00130	0,00144	0,00160
240	0,9008	0,6927	0,5793	0,3816
260	0,7699	0,7242	0,4145	0,3123
280	0,7236	0,6622	0,3077	0,2180
300	0,6739	0,5020	0,4270	0,4196

1. Model kinetika reaksi 1, jika langkah reaksi permukaan merupakan langkah yang menentukan. Dari pengolahan data didapatkan nilai-nilai dari konstanta-konstanta sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Nilai konstanta-konstanta k , K_A , K_B , K_C dan K_D Untuk Model 1

Suhu, °C	k	K_A	K_B	K_C	K_D
240	3,1493	1,3286	1,4106	4,6799	4,1472
260	4,9459	2,0141	1,6449	5,6628	2,5931
280	2,9910	1,8166	1,6273	17,2345	4,2734
300	4,8864	2,0141	1,3853	25,3999	5,5633



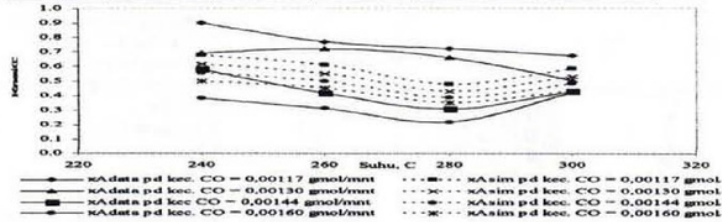
Gambar 3. Hubungan Suhu Terhadap x_A data dan x_A simulasi Pada Berbagai Kecepatan CO Model 1

Didasarkan Tabel 2 berkenaan dengan nilai konstanta k ada kecenderungan bahwa k akan meningkat dengan meningkatnya suhu. Gejala ini sesuai dengan persamaan Arrhenius. Didasarkan pada nilai ralat antara x_{Asim} dibandingkan dengan x_{Adata} pada Gambar 3 yaitu 28,15%, maka model 1 kurang sesuai.

2. Model kinetika reaksi 2, jika langkah adsorpsi reaktan CO merupakan langkah yang menentukan. Dari pengolahan data didapat nilai konstanta-konstanta sebagaimana tersebut dalam Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Nilai konstanta-konstanta k_{AA} , K_1 , K_B , K_C dan K_D dalam model 2

Suhu, °C	k_{AA}	K_1	K_B	K_C	K_D
240	0,0006	0,3887	0,9059	0,0045	0,0448
260	0,0002	0,0337	0,3497	0,0008	0,0311
280	0,0004	0,2627	1,0305	0,0058	0,0158
300	0,0011	0,4618	2,0419	0,1749	0,3672



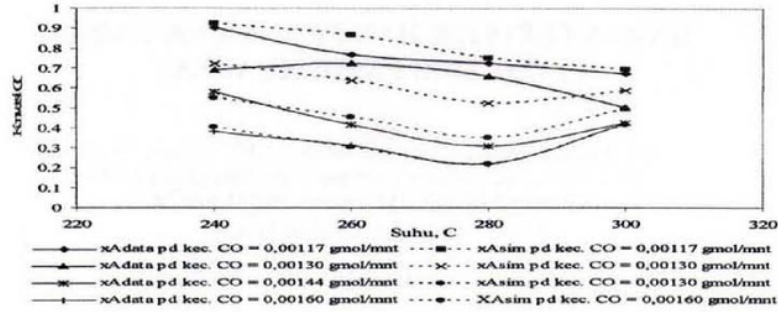
Gambar 4. Hubungan Suhu Terhadap x_A data dan x_A simulasi Pada Berbagai Kecepatan CO Model 2

Didasarkan pada Tabel 3 di atas terlihat bahwa nilai k_{AA} akan meningkat mulai dari 0,0002 pada suhu 260°C sampai 0,0011 pada suhu 300°C. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan adsorpsi CO dari badan gas ke permukaan katalis akan meningkat dengan meningkatnya suhu. Gejala meningkatnya nilai k_{AA} dengan meningkatnya suhu ini juga menunjukkan bahwa jenis adsorpsi CO ke permukaan katalis merupakan adsorpsi kimiawi dan bukan adsorpsi fisis. Didasarkan nilai ralat antara x_{Asim} dengan x_{Adata} pada Gambar 4 yaitu 23,1%, maka model 2 juga kurang sesuai.

3. Model kinetika reaksi 3, jika desorpsi DME merupakan langkah yang menentukan. Dari pengolahan data didapat konstanta-konstanta sebagaimana tersebut dalam Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Nilai konstanta-konstanta k_{CD} , K_A , K_B , K_3 dan K_D Untuk Model 3

Suhu, °C	k_{CD}	K_A	K_B	K_3	K_D
240	0,0012	0,0419	0,0444	2,1061	0,6831
260	0,0008	0,0265	0,0296	1,2443	0,3839
280	0,0006	0,0165	0,0161	0,8159	0,2440
300	0,0018	0,0499	0,0383	5,2289	3,1125



Gambar 5. Hubungan Suhu Terhadap x_A data dan x_A simulasi Pada Berbagai Kecepatan CO Model 3

Didasarkan Tabel 5. di atas terlihat bahwa nilai k_{CD} relatif menurun dengan meningkatnya suhu. Sedikit penyimpangan terletak pada datum ke empat. Gejala ini dapat dijelaskan bahwa reaksi konversi syngas pada hakekatnya merupakan reaksi hidrogenisasi CO. Menurut Frost dan Pearson (1961), hubungan antara suhu dengan kecepatan reaksi berbentuk fungsi parabola terbalik, mula-mula kecepatan reaksi meningkat dengan suhu, kemudian tetap dan akhirnya kecepatan reaksi akan menurun dengan meningkatnya suhu. Pada katalis 2 ini, menurunnya kecepatan reaksi ditandai dengan menurunnya nilai k_{CD} yaitu 0,0012 padam 240°C sampai 0,0006 pada 280°C . Didasarkan pada nilai ralat antara x_{Asim} dibandingkan dengan x_{Adata} pada Gambar 5 yang lebih kecil daripada 10% yaitu 8,2% maka model 3 yaitu langkah desorpsi katalis merupakan langkah yang menentukan reaksi keseluruhan dapat dipahami sebagai model yang paling sesuai.

Kesimpulan

Model kinetika reaksi katalitik yang telah diuji dan memberikan ralat <10% adalah model di mana langkah desorpsi DME dari permukaan katalis merupakan langkah yang menentukan kecepatan reaksi dengan bentuk: $r_A = 2k_{CD}P_C / (K_A P_A + K_B P_B + K_C P_C + K_D P_D)$ gmol CO bereaksi/menit.g-katalis. Nilai konstanta dalam model tersebut adalah k_{CD} berkisar dari 0,00059-0,00039; K_A berkisar dari 0,0007- 0,0003; K_B berkisar dari 0,0005-0,0003; K_C berkisar dari 1,5868-0,8498 dan K_D berkisar dari 1,2413-0,6240.

Daftar Notasi

$C_{AS}, C_{BS}, C_{CS}, C_{DS}$	= fraksi yang ditempati oleh senyawa A, B,C,D teradsorpsi	[-]
F_{A0}, F_I	= kecepatan mol umpan A masuk dan Inert	[gmole/menit]
K_A, K_B	= konstanta kesetimbangan adsorpsi reaktan A, B	[bar ⁻¹]
K_C, K_D	= konstanta kesetimbangan desorpsi C, D	[bar ⁻¹]
k_{AA}	=konstanta kecepatan reaksi jika adsorpsi reaktan A menentukan	[gmol/gkat.mntbar]
k_{CD}	=konstanta kecepatan reaksi jika desorpsi produk C menentukan	[gmol/gkat.mntbar]
P_A, P_B, P_C, P_D	= tekanan parsial senyawa A,B,C,D	[bar]
x_{Adata}, x_{Asim}	= konversi CO berdasar data penelitian dan model	[fraksi mol]

Daftar Pustaka

- [1] Frost, A.A., and Pearson, R.G., 1961, "Kinetics and Mechanism", 2nd, John Wiley and Sons Inc., New York, hal.22-25
- [2] Levenspiel, O., 1999, "Chemical Reaction Engineering", 3rd, John Wiley and Sons Inc., New York, hal.396-400
- [3] Ohno, Y., 2002, "New Clean Fuel Dimethyl Ether (DME) Synthesis Technology", Paper of Seminar about DME in ITS., April 29, 2002
- [4] 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, Oktober 2002
- [5] Sediawan, W.B. dan Prasetyo, I., 1997, "Pemodelan Matematis dan Penyelesaian Numeris Dalam Teknik Kimia", Penerbit Andi Offset, Yogyakarta, hal.62-66 dan hal.185-195.
- [6] Ikada, et al., 2000, "Method and Apparatus for Producing Dimethyl Ether". US Patent 6147125
- [7] Sun, K., Lu, W., Qui, F., Liu, S., Xu.,X., 2003, "Direct Synthesis of DME over Bifunctional Catalysts Surface Properties and Catalytic Performance"; Applied Catalysis A., General 252.
- [8] Yusgiantoro, P., 2005, "Kebijakan Energi Nasional", Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia, Jakarta

KINETIKA REAKSI KATALITIK KONVERSI SYNGAS MENJADI DIMETHYL ETHER

ORIGINALITY REPORT

% **5**

SIMILARITY INDEX

% **5**

INTERNET SOURCES

% **1**

PUBLICATIONS

% **1**

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

118.96.137.51:888

Internet Source

% **4**

2

Submitted to Universitas Diponegoro

Student Paper

% **1**

3

www.ci.saint-clair-shores.mi.us

Internet Source

<% **1**

4

publikasiilmiah.ums.ac.id

Internet Source

<% **1**

5

journals.pan.pl

Internet Source

<% **1**

EXCLUDE QUOTES ON

EXCLUDE BIBLIOGRAPHY ON

EXCLUDE MATCHES < 10 WORDS