

PREPARATION, CHARACTERIZATION AND CATALYTIC ACTIVITY TEST OF CoMo/ZnO CATALYST ON ETHANOL CONVERSION USING STEAM REFORMING METHOD

Preparasi, Karakterisasi dan Uji Aktivitas Katalis CoMo/ZnO pada Konversi Etanol Menggunakan Metode Steam Reforming

Wega Trisunaryanti^{1*}, Handirofa¹, Triyono¹, and Suryo Purwono²

¹Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences Gadjah Mada University, Sekip Utara Yogyakarta 55281

²Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Gadjah Mada University, Jl. Grafika, Yogyakarta 55281

Received April 30, 2008; Accepted June 25, 2009

ABSTRACT

Preparation, characterization and catalytic activity test of CoMo/ZnO catalyst for steam reforming of ethanol have been investigated. The catalysts preparation was carried out by impregnation of Co and/or Mo onto ZnO sample. Water excess was used in ethanol feed for steam reforming process under mol ratio of ethanol:water (1:10).

Characterizations of catalysts were conducted by analysis of metal content using Atomic Absorption Spectroscopy (AAS). Determination of catalysts acidity was conducted by gravimetric method of adsorption of pyridine base. Catalytic activity test on ethanol conversion using steam reforming method was conducted in a semi-flow reactor system, at a temperature of 400 °C, for 1.5 h under N₂ flow rate of 10 mL/min. Gas product was analyzed by gas chromatograph with TCD system.

The results of catalysts characterizations showed that the impregnation of Co and/or Mo metals on ZnO sample increased its acidity and specific surface area. The content of Co in Co/ZnO and CoMo/ZnO catalysts was 1.14 and 0.49 wt%. The Mo content in CoMo/ZnO catalyst was 0.36 wt%. The catalytic activity test result on ethanol conversion showed that the ZnO, Co/ZnO, and CoMo/ZnO catalysts produced gas fraction of 16.73, 28.53, and 35.53 wt%, respectively. The coke production of ZnO, Co/ZnO, and CoMo/ZnO catalysts was 0.86, 0.24, and 0.08 wt%, respectively. The gas products consisted mainly of hydrogen.

Keywords: CoMo/ZnO catalyst, steam reforming, ethanol

PENDAHULUAN

Energi merupakan salah satu sektor kehidupan yang menjadi permasalahan utama negara-negara di dunia. Hal ini dikarenakan semakin bergantungnya manusia terhadap alat-alat penunjang kualitas hidup seperti alat transportasi, alat komunikasi, dan alat portabel lainnya, di mana alat-alat tersebut dapat bekerja hanya dengan adanya energi. Bahan bakar fosil seperti minyak bumi merupakan salah satu sumber energi konvensional tak terbarukan yang paling diminati. Hampir semua suplai energi yang digunakan terutama di Indonesia berasal dari konversi minyak bumi. Pemanfaatan minyak bumi secara terus-menerus dalam skala besar dapat menyebabkan menipisnya cadangan minyak bumi. Menipisnya cadangan minyak bumi akan menyebabkan kenaikan harga minyak mentah yang secara tidak langsung akan turut menaikkan harga-harga kebutuhan pokok lainnya.

Fakta lain menunjukkan bahwa penggunaan minyak bumi sebagai sumber energi telah menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan. Pengemisiaan gas-

gas beracun yang sangat mengganggu kesehatan manusia seperti gas sulfur oksida (SO_x), nitrogen oksida (NO_x), dan karbon oksida (CO_x), serta emisi gas rumah kaca yang mengakibatkan pemanasan global (*global warming*) sama sekali tidak terkontrol. Berbagai permasalahan tersebut mendorong pencarian sumber energi alternatif baru yang murah, bersifat dapat diperbaharui (*renewable*), dan ramah terhadap lingkungan.

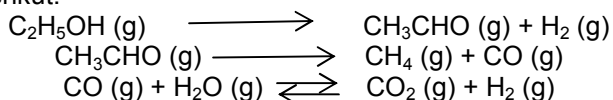
Salah satu sumber energi alternatif yang sedang banyak dikembangkan saat ini adalah hidrogen. Hidrogen merupakan bahan bakar yang cukup menguntungkan karena dapat digunakan pada pembakaran dalam mesin serta menghasilkan efisiensi yang cukup tinggi dan ramah terhadap lingkungan. Salah satu aplikasi hidrogen adalah pada *fuel cell*. *Fuel cell* merupakan teknologi pengubah energi kimia menjadi energi listrik yang berbasis baterai. Selain menggunakan sumber energi yang bersifat dapat terbarukan (hidrogen dan oksigen), *fuel cell* juga tidak menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan karena tidak mengemisikan gas-gas atau partikulat-partikulat

* Corresponding author. Tel/Fax : +62-274-545188
Email address : wegatri@yahoo.com

berbahaya melainkan hanya mengemisikan uap air serta tidak menimbulkan kebisingan sehingga lebih ramah lingkungan [1].

Penelitian-penelitian yang dilakukan saat ini mulai menggunakan alkohol sebagai bahan penghasil hidrogen. Alkohol yang banyak digunakan adalah metanol dan etanol. Apabila dilihat dari sudut pandang kelestarian lingkungan, penggunaan etanol sebagai bahan penghasil hidrogen lebih disukai daripada metanol karena etanol tergolong senyawa yang bersifat terbarukan (*renewable*) [2]. Proses produksi hidrogen dari alkohol maupun hidrokarbon lainnya dapat dilakukan menggunakan metode *steam reforming* atau juga oksidasi parsial. Pada proses *steam reforming*, alkohol direaksikan dengan uap air untuk menghasilkan H₂ dan CO₂ [3].

Alkohol yang banyak digunakan untuk memproduksi hidrogen adalah etanol. Etanol bahkan lebih disukai daripada metanol karena mudah diperoleh, murah, dan bersifat terbarukan karena dapat berasal dari fermentasi tanaman atau biomassa [1,2,4]. Proses *steam reforming* etanol menggunakan katalis Pd/C, etanol akan mengalami dekomposisi [5]. Dekomposisi etanol tersebut diperkirakan mengikuti jalur sebagai berikut:



Reaksi *steam reforming* hidrokarbon maupun senyawa organik melibatkan pemutusan dan pembentukan ikatan. Proses ini membutuhkan energi yang cukup besar karena kekuatan ikat senyawa-senyawa tersebut cukup besar pula. Faktor tersebut menyebabkan reaksi *steam reforming* yang melibatkan hidrokarbon maupun senyawa organik sebagai umpan membutuhkan kondisi reaksi yang berat, sehingga dibutuhkan peran serta dari katalis. Katalis yang dapat digunakan pada proses *steam reforming* salah satunya adalah katalis logam. Logam-logam transisi seperti Fe, Co, Ni, Rd, Ru, Pd, Os, Ir, dan Pt dapat digunakan sebagai katalis dalam reaksi *steam reforming* [6].

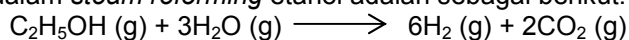
Aplikasi katalis pada proses *steam reforming* memang menuntut adanya modifikasi katalis untuk mencapai produksi hidrogen yang optimum. Katalis yang umum digunakan adalah Cu, Co, dan Ni yang bereaksi dalam pengemban basa dan mempunyai luas permukaan yang tinggi. Katalis logam transisi dapat digunakan dalam proses *steam reforming* etanol terutama katalis kobalt [7,8]. Katalis kobalt merupakan katalis yang aktif untuk reaksi hidrogenasi terutama pada hidrogenasi nitril dan aldokime menjadi amina primer.

Selain katalis kobalt, dalam reaksi-reaksi *reforming* sering pula digunakan katalis molibdenum seperti katalis molibdenum/karbon untuk proses *reforming*

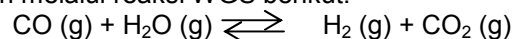
sikloheksana, n-heksana, metil siklopentana, dan n-heptana [9]. Logam Co dan Mo juga sering digunakan pada sistem katalis multimetal, yaitu katalis kobalt-molibdenum-alumina untuk proses hidrodessulfurisasi.

Logam-logam seperti Co dan Mo tersebut sering didispersikan ke dalam pengemban basa untuk memperoleh aktivitas katalitik optimum pada reaksi *steam reforming*. Pengemban basa lebih disukai daripada pengemban asam karena dalam *steam reforming* pengemban yang bersifat asam dapat mempromosi perengkahan dan menyebabkan terjadinya deposit kokas. Salah satu pengemban basa yang banyak digunakan dalam reaksi *steam reforming* adalah ZnO [10].

Steam reforming terhadap etanol memang mungkin untuk dilakukan. Melalui *steam reforming*, etanol akan direaksikan dengan uap air untuk menghasilkan enam mol hidrogen dari tiap mol etanol yang bereaksi [11]. Reaksi yang diharapkan terjadi dalam *steam reforming* etanol adalah sebagai berikut:



Selain hidrogen, *steam reforming* etanol juga akan menghasilkan karbon dioksida dan karbon monoksida. Karbon monoksida merupakan senyawa yang berbahaya bahkan termasuk senyawa beracun terutama bagi kinerja *fuel cell*. Oleh karena itu, produk karbon monoksida harus dikurangi [12]. Salah satu cara mengurangi kadar produksi karbon monoksida adalah melalui reaksi WGS berikut:



Berdasarkan uraian di atas, diharapkan penggunaan katalis logam Co mampu mengkatalisis reaksi *steam reforming* etanol. Logam Mo diharapkan mampu berperan sebagai promotor bagi katalis Co. Logam Co dan/atau Mo diimbangkan pada padatan ZnO yang diharapkan mampu meningkatkan aktivitas katalitik dari katalis.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan antara lain: Co(NO₃)₂·6H₂O (Merck), (NH₄)₆(Mo)₇O₂₄·4H₂O (Merck), ZnO (Merck), etanol (*p.a.*, Merck), akuabides (Laboratorium PAU UGM), piridin (*p.a.*, Merck), HCl 37% (*p.a.*, Merck), gas nitrogen (teknis, P.T. Samator Gas), gas oksigen (teknis, P.T. Samator Gas).

Alat

Peralatan yang digunakan antara lain: alat-alat gelas, *hot plate-stirrer*, penangas minyak, pengaduk magnet, timbangan (GR 200), ayakan 100 mesh, krus porselin, evaporator (Stuart RE 300), oven listrik, tanur

pemanas (*Tube Furnace*), kolom kalsinasi dan oksidasi, kolom katalis, termometer raksa, termometer digital (*Thermolyne*), termokopel, *flowmeter*, desikator, pompa vakum, pompa kompresor, kolom pendingin ulir, *Gas Sorption Analyzer NOVA-1000* (Quantachrome Corporation) di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Maju (P3TM) BATAN Yogyakarta, instrumentasi *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS, Perkin Elmer 3110), *Gas Chromatograph* (GC 550 P) dengan detektor TCD.

Prosedur Kerja

Preparasi sampel ZnO

Preparasi sampel ZnO (tanpa logam Co dan Mo teremban) dilakukan dengan mengayak 30 g ZnO dengan ayakan 100 mesh. Sampel selanjutnya dikalsinasi dalam aliran gas nitrogen 20 mL/min pada temperatur 400 °C selama 6 jam.

Preparasi katalis Co/ZnO (1% b/b) dengan metode impregnasi. Preparasi katalis Co/ZnO dilakukan dengan metode impregnasi logam kobalt. Mula-mula disiapkan larutan garam $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 1,4840 g dalam 200 mL akuabides. Larutan garam kobalt selanjutnya dimasukkan dalam labu alas bulat 500 mL yang sudah berisi 30 g ZnO 100 mesh kemudian ditambahkan akuabides sebanyak 200 mL. Labu dirangkai ke alat refluk dengan pendingin air dan dipanaskan pada temperatur 90 °C selama 5 jam sambil diaduk menggunakan pengaduk magnet. Kemudian dilanjutkan evaporasi dengan pengurangan tekanan hingga terbentuk suspensi yang kental. Penguapan pelarut disempurnakan dengan pengeringan menggunakan oven listrik pada temperatur 120 °C hingga berat konstan. Katalis kering digerus dalam cawan porselin kemudian dikalsinasi dalam aliran gas nitrogen 20 mL/min pada temperatur 400 °C selama 6 jam.

Preparasi katalis CoMo/ZnO (1% b/b) dengan metode impregnasi. Preparasi katalis CoMo/ZnO dilakukan dengan metode impregnasi logam kobalt (0,5% b/b) dan molibdenum (0,5% b/b) ke dalam ZnO. Logam molibdenum diembankan terlebih dahulu, mula-mula 0,276 g $(\text{NH}_4)_6(\text{Mo})_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dilarutkan ke dalam 200 mL akuabides. Larutan garam molibdenum selanjutnya dimasukkan dalam labu alas bulat 500 mL yang sudah berisi 30 gram ZnO 100 mesh kemudian ditambahkan akuabides sebanyak 200 mL. Labu dirangkai ke alat refluk dengan pendingin air dan dipanaskan pada temperatur 90 °C selama 5 jam sambil diaduk menggunakan pengaduk magnet. Kemudian dilanjutkan evaporasi dengan pengurangan tekanan hingga terbentuk suspensi yang kental. Penguapan pelarut disempurnakan dengan pengeringan menggunakan oven listrik pada temperatur 120 °C

hingga berat konstan. Selanjutnya dilakukan impregnasi kembali untuk logam kedua yaitu kobalt dengan cara yang sama dengan pengembanan logam molibdenum menggunakan garam $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebanyak 0,7405 g. Katalis CoMo/ZnO kering digerus dalam cawan porselin kemudian dikalsinasi dalam aliran gas nitrogen 20 mL/min pada temperatur 400 °C selama 6 jam.

Karakterisasi katalis

Analisis kandungan logam. Analisis kandungan logam dilakukan melalui proses destruksi logam pada padatan katalis. Mula-mula ditimbang 1 g sampel katalis untuk kemudian dilarutkan dalam 20 mL HCl 37%. Larutan sampel katalis didiamkan selama 24 jam sambil terus diaduk menggunakan pengaduk magnet. Untuk analisis kandungan logam Co, masing-masing sampel katalis Co/ZnO dan CoMo/ZnO diencerkan sebanyak 100 kali. Sedangkan untuk analisis kandungan logam Mo, sampel katalis CoMo/ZnO diencerkan sebanyak 25 kali. Sampel katalis selanjutnya dianalisis menggunakan AAS yang dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik FMIPA UGM Yogyakarta.

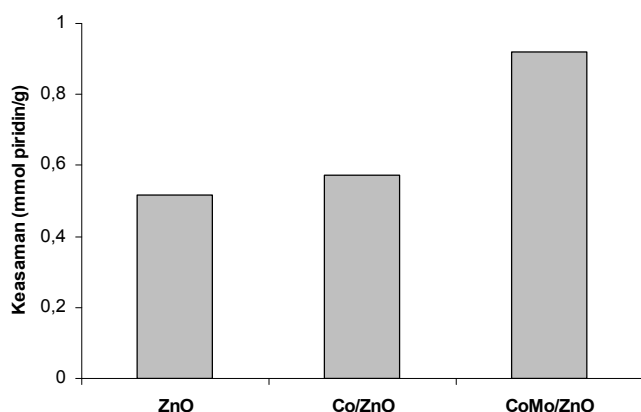
Penentuan keasaman katalis. Keasaman ditentukan secara kuantitatif menggunakan metode gravimetri dengan adsorpsi basa piridin. Mula-mula disiapkan krus porselin kosong kemudian dioven pada temperatur 120 °C selama 1 jam dan ditimbang sebagai W_1 . Selanjutnya sebanyak 0,1 g sampel katalis dimasukkan ke dalam krus porselin lalu dioven pada temperatur 120 °C selama 1 jam dan ditimbang sebagai W_2 . Krus porselin yang telah berisi sampel katalis kemudian dimasukkan ke dalam desikator, selanjutnya ke dalam desikator dimasukkan 3 mL piridin yang juga ditempatkan dalam krus porselin. Desikator ditutup rapat dan didiamkan selama 24 jam. Desikator lalu dibuka dan dibiarkan dalam udara terbuka selama 30 menit untuk menguapkan piridin yang tidak teradsorpsi. Krus yang berisi sampel katalis selanjutnya ditimbang sebagai W_3 . Keasaman katalis (mmol piridin/g) ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Keasaman} = \frac{W_3 - W_2}{(W_2 - W_1) M} \times 1000 \frac{\text{mmol}}{\text{g}} \quad (1)$$

dimana M adalah berat molekul piridin sebesar 79 g/mol.

Uji aktivitas katalis pada reaksi steam reforming etanol

Uji aktivitas dilakukan terhadap semua variasi katalis yaitu ZnO, Co/ZnO, dan CoMo/ZnO. Umpan berupa larutan etanol:air (1:10) seberat 10 g dimasukkan ke dalam labu leher tiga yang ditempatkan



Gambar 1. Tingkat keasaman untuk seluruh variasi katalis

dalam penangas minyak. Katalis seberat 1 g dimasukkan dalam tempat katalis. Tempat katalis dimasukkan dalam reaktor uji aktivitas. Tanur pemanas dinyalakan hingga mencapai temperatur 400 °C, sedangkan larutan umpan dipanaskan pada temperatur 80 °C dalam penangas minyak. Selanjutnya gas nitrogen dialirkan dengan laju alir 10 mL/min, proses ini dibiarkan berlangsung selama 1,5 jam. Uap dialirkan melewati pendingin ulir, uap yang terkondensasi ditampung kemudian dianalisis dengan kromatografi gas.

Selain produk cair, dianalisis juga larutan umpan mula-mula yaitu larutan etanol:air (1:10) sebelum konversi dengan kondisi pengukuran yang sama. Jumlah sampel yang diinjeksikan semua yaitu sebesar 1 µL. Data *output* berupa kromatogram yang diperoleh menggambarkan kondisi sampel secara kualitatif dan kuantitatif. Berdasarkan jumlah puncak kromatogram dapat diketahui jumlah senyawa dalam sampel, sedangkan dari segi kuantitatif dapat diketahui persentase produk konversi. Cairan yang tidak terkonversi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Cairan yang tidak terkonversi} = \frac{\text{berat umpan sisa} + \text{berat produk cair}}{\text{berat umpan mula - mula}} \times 100\% \quad (2)$$

Penentuan berat kokas

Berat kokas ditentukan dengan cara mengoksidasi katalis bekas dalam aliran gas oksigen. Katalis bekas yang telah digunakan pada proses *steam reforming* ditimbang lalu dimasukkan dalam tempat katalis. Tempat katalis ini dimasukkan dalam reaktor oksidasi. Oksidasi dilakukan dalam aliran gas oksigen 20 mL/min pada temperatur 500 °C selama 1 jam. Katalis bekas yang telah dioksidasi selanjutnya ditimbang kembali. Dengan mengasumsikan bahwa kokas terdeposit merata di katalis maka berat kokas dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$\text{Berat kokas} = \text{berat katalis sebelum oksidasi} - \text{berat katalis sesudah oksidasi}$

$$\text{Produk kokas} = \frac{\text{berat kokas}}{\text{berat umpan mula - mula}} \times 100\% \quad (3)$$

Dengan mengetahui persentase cairan yang tidak terkonversi serta produk kokas, maka produk gas dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Produk gas} = [100 - (\text{cairan yang tidak terkonversi} + \text{produk kokas})]\% \quad (4)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Katalis

Analisis kandungan logam

Karakterisasi katalis berupa analisis kandungan logam digunakan untuk menghitung kadar logam Co dan Mo yang dapat terembankan pada padatan pendukung ZnO.

Analisis kandungan logam Co dilakukan terhadap katalis Co/ZnO dan CoMo/ZnO menggunakan metode kurva standar. Sampel katalis Co/ZnO dan CoMo/ZnO menghasilkan absorbansi berturut-turut sebesar 0,04 dan 0,02. Nilai absorbansi tersebut apabila disubstitusikan pada persamaan garis kurva standar logam Co maka akan dihasilkan persentase akhir kandungan logam Co dalam katalis Co/ZnO dan CoMo/ZnO masing-masing sebesar 1,14 dan 0,49% b/b.

Analisis logam Mo dilakukan terhadap katalis CoMo/ZnO menggunakan metode kurva standar. Sampel katalis CoMo/ZnO menghasilkan absorbansi sebesar 0,01. Nilai absorbansi tersebut apabila disubstitusikan ke dalam persamaan garis kurva standar logam Mo maka akan diperoleh persentase akhir kandungan logam Mo dalam katalis CoMo/ZnO sebesar 0,36% b/b.

Uji keasaman katalis

Uji keasaman katalis dilakukan untuk mengetahui jumlah situs asam yang terdapat pada padatan katalis. Makin besar sifat keasaman berarti semakin banyak situs asam pada padatan katalis tersebut. Uji keasaman ini dilakukan menggunakan metode gravimetri melalui adsorpsi basa piridin. Hasil uji keasaman terhadap semua variasi katalis dapat dilihat pada Gambar 1.

Hasil yang diperoleh menunjukkan keasaman Co/ZnO dan CoMo/ZnO lebih besar daripada ZnO. Hal ini dapat disebabkan karena pada katalis Co/ZnO dan CoMo/ZnO terdapat logam-logam transisi yang memiliki orbital d belum penuh yang sangat efektif sebagai akseptor pasangan elektron dari basa adsorbat.

Tabel 1. Karakteristik padatan katalis

Katalis	S_{BET} (m^2/g)	$V_{total\ pori}$ ($10^{-3} cm^3/g$)	r_{pori} (Å)
ZnO	4,19	5,07	24,20
Co/ZnO	6,13	7,53	24,58
CoMo/ZnO	6,88	7,45	21,64

Tabel 2. Hasil konversi etanol menggunakan metode *steam reforming*

Katalis	Produk gas (% b/b)	Kokas (% b/b)	Cairan yang tidak terkonversi (% b/b)
ZnO	16,73	0,86	82,41
Co/ZnO	28,53	0,24	71,24
CoMo/ZnO	35,53	0,08	64,39

b/b = berat produk/berat umpan mula-mula

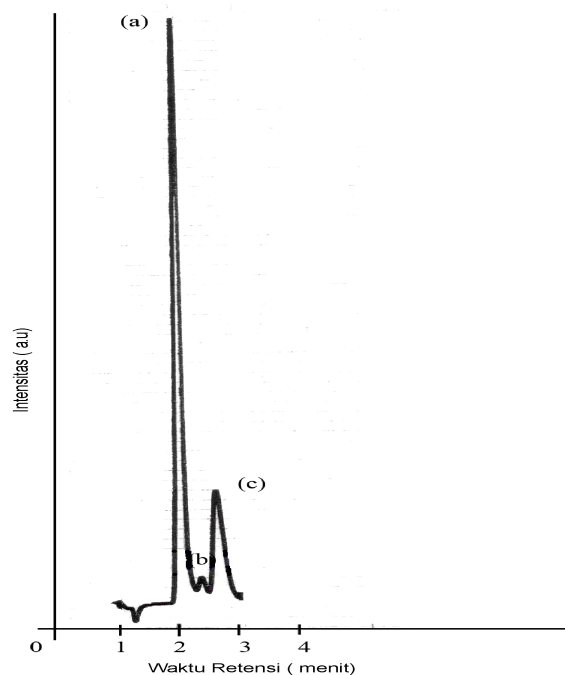
Katalis CoMo/ZnO memiliki keasaman yang lebih besar daripada Co/ZnO. Hal ini dapat disebabkan karena adanya logam Mo yang memiliki orbital d belum penuh yang lebih banyak daripada logam Co sehingga kemampuan untuk menerima pasangan elektron menjadi lebih besar.

Analisis pori padatan katalis

Dalam pembahasan ini akan dipaparkan karakter-karakter padatan katalis seperti luas permukaan spesifik (S_{BET}), volume total pori ($V_{total\ pori}$), dan rerata jejari pori (r_{pori}) seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 1.

Data pada Tabel 1 menunjukkan pengembangan logam Co dan Mo meningkatkan luas permukaan spesifik padatan katalis. Hal ini dapat dimungkinkan karena logam-logam tersebut terdispersi dengan baik pada permukaan padatan ZnO, sehingga permukaan logam memberikan kontribusi positif terhadap luas permukaan spesifik padatan katalis.

Hasil pada $V_{total\ pori}$ menunjukkan katalis Co/ZnO dan CoMo/ZnO memiliki $V_{total\ pori}$ yang lebih besar daripada ZnO. Hal ini dapat dimungkinkan karena terbentuknya pori baru di permukaan padatan ZnO. Logam-logam yang terdispersi pada permukaan ZnO akan saling bersinggungan satu sama lain sehingga terbentuklah rongga antara satu atom logam dengan yang lain. Katalis Co/ZnO memiliki $V_{total\ pori}$ yang lebih besar daripada CoMo/ZnO. Hal ini dimungkinkan karena pada saat preparasi katalis CoMo/ZnO logam Mo diembankan terlebih dulu. Logam Mo memiliki ukuran yang cukup besar sehingga dimungkinkan pengembangan logam Mo tersebut menutup permukaan pori internal dari padatan ZnO. Penutupan pori internal ZnO akibat pengembangan logam Mo ini tidak terlalu banyak, hal ini tampak dari hasil $V_{total\ pori}$ yang menunjukkan $V_{total\ pori}$ katalis CoMo/ZnO tidak jauh berbeda dari katalis Co/ZnO.



Gambar 2. Kromatogram produk gas hasil *steam reforming* etanol: (a) H_2 , (b) O_2 , dan (c) CO_2

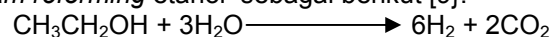
Uji Aktivitas Katalis

Hasil konversi etanol menggunakan metode *steam reforming* selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Data pada Tabel 2 menunjukkan produk gas yang diperoleh jauh lebih kecil daripada cairan yang tidak terkonversi. Hal ini menunjukkan reaksi *steam reforming* yang dilakukan dalam sistem *semi flow* memang belum terlalu efektif. Hal ini kemungkinan besar berkaitan dengan waktu kontak reaktan dengan katalis yang tidak terlalu besar, yaitu sekitar 0,4 menit.

Pengembangan logam Co dan Mo terbukti dapat meningkatkan konversi produk gas. Hal ini membuktikan bahwa keberadaan logam Co dan Mo pada permukaan padatan ZnO cukup mampu menyediakan tambahan situs aktif yang dapat diakses oleh molekul reaktan.

Hasil analisis produk gas menggunakan GC dengan detektor TCD pada Gambar 2 menunjukkan bahwa produk gas terdiri dari H_2 , O_2 dan CO_2 , di mana gas H_2 paling dominan. Hal ini sesuai dengan reaksi *steam reforming* etanol sebagai berikut [9]:



Selain produk gas, reaksi *steam reforming* etanol pada penelitian ini juga menghasilkan kokas. Kokas yang terbentuk pada penelitian ini tidaklah terlalu besar karena masih di bawah 1% b/b. Pembentukan kokas yang rendah ini dapat dimungkinkan karena penggunaan air berlebih pada larutan umpan. Selain

itu, etanol yang merupakan larutan umpan adalah alkohol dengan rantai karbon yang pendek. Rantai karbon etanol yang pendek menyebabkan hanya sedikit kokas yang terdeposit pada katalis.

Pengembangan logam Co dan Mo juga terbukti dapat menurunkan kokas yang terbentuk. Hal ini membuktikan bahwa keberadaan logam Co dan Mo pada permukaan padatan ZnO cukup mampu menyediakan tambahan situs aktif yang dapat diakses oleh molekul reaktan, sehingga molekul reaktan akan lebih banyak terkonversi menjadi produk gas dan hanya sedikit membentuk kokas.

KESIMPULAN

Hasil karakterisasi AAS menunjukkan kandungan logam Co dalam katalis Co/ZnO dan CoMo/ZnO masing-masing sebesar 1,14 dan 0,49% b/b, sedangkan kandungan logam Mo dalam katalis CoMo/ZnO sebesar 0,36% b/b.

Kandungan logam Co dan Mo pada padatan ZnO terbukti dapat meningkatkan keasaman katalis. Sampel ZnO, Co/ZnO, dan CoMo/ZnO berturut-turut memiliki keasaman sebesar 0,52, 0,57, dan 0,92 mmol piridin/g.

Kandungan logam Co dan Mo pada padatan ZnO terbukti dapat meningkatkan luas permukaan spesifik katalis, dimana sampel ZnO, Co/ZnO, dan CoMo/ZnO berturut-turut memiliki luas permukaan spesifik sebesar 4,19, 6,13, dan 6,88 m²/g.

Konversi produk gas pada *steam reforming* etanol mengalami kenaikan seiring meningkatnya keasaman dan luas permukaan spesifik katalis. Sampel ZnO, Co/ZnO, dan CoMo/ZnO berturut-turut menghasilkan produk gas sebesar 16,73, 28,53, dan 35,53% b/b.

Pembentukan kokas mengalami penurunan seiring meningkatnya keasaman dan luas permukaan spesifik katalis. Sampel ZnO, Co/ZnO, dan CoMo/ZnO berturut-turut menghasilkan kokas sebesar 0,86, 0,24, dan 0,08% b/b.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset dan Teknologi atas bantuan dana penelitian melalui Proyek Insentif Riset Dasar Tahun 2007.

DAFTAR PUSTAKA

1. Fatsikostas, A.N., Kondarides, D.I., and Verykios, X.E., 2001, *Chem. Commun.*, 851-852.
2. Al-Qahtani, H., 1997, *J. Chem. Eng.*, 66,51-56.
3. Augustine, R.L., 1996, *Heterogenous catalysis for the Synthetic Chemist*, Marcel Dekker Inc., New York.
4. Aupretre, F., Descorme, C., and Duprez, D., 2002, *Catal. Commun.*, 3, 263-267.
5. Batista, M.S., Santos, R.K.S., Assaf, E.M., Assaf, J.M., and Ticianelli, E.A., 2004, *J. Power Sources*, 134, 27-32.
6. Bridgewater, A.J., Burch, R., and Mitchell, P.C.H., 1980, *J. Chem. Soc., Faraday Trans. 1*, 76, 1811-1820.
7. Galvita, V.V., Belyaev, V.D., Semikolenov, V.A., Tsiakaras, P., Frumin, A., and Sobyenin, V.A., 2002, *React. Kinet. Catal. Lett.*, 343-351.
8. Haga, F., Nakajima, T., Miya, H., and Mishima, S., 1997, *Catal. Lett.*, 48, 223-227.
9. Llorca, J., Homs, N., Sales, J., and de la Piscina, P.R., 2002, *J. Catal.*, 209, 306-317.
10. Llorca, J., Homs, N., Sales, J., Fierro, J.L.G., and de la Piscina, P.R., 2004, *J. Catal.*, 222, 470-480.
11. Resini, C., Delgado, M.C.H., Arrighi, L., Alemany, L.J., Marazza, R., and Busca, G., 2005, *Catal. Commun.*, 6, 441-445.
12. Trimm, D.L., 2005, *Appl. Catal., A*, 296, 1-11.