

PENGARUH *LOADING* Ni PADA KARAKTER, AKTIVITAS, DAN STABILITAS KATALIS Ni-CeO₂/MgO/Al₂O₃ UNTUK REAKSI OKSIDASI PARSIAL METANA

W.W. Purwanto, Slamet dan E. Swarandani^{*)}

Abstrak

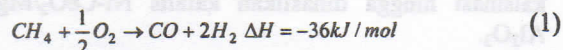
Reaksi oksidasi parsial metana mempunyai potensi menggantikan reaksi reformasi kukus untuk menghasilkan gas sintesis yang selama ini banyak digunakan yang prosesnya membutuhkan energi dan biaya yang besar. Reaksi parsial oksidasi metana merupakan reaksi eksotermis yang membutuhkan sedikit energi. *Loading* Ni yang rendah diharapkan dapat mengurangi pembentukan deposit karbon, tetapi tetap memiliki kinerja yang baik karena diameter partikel kecil dan dispersi tinggi. Ni-CeO₂/MgO/Al₂O₃ dengan *loading* Ni 3, 5 dan 10% dipreparasi dengan metode preparasi sol gel - impregnasi. Karakterisasi yang dilakukan adalah BET, XRD dan chemisorption. Selanjutnya digunakan pada reaksi oksidasi parsial metana pada temperatur 800°C, tekanan atmosferik, rasio CH₄/O₂ sebesar 1,67, dan waktu tinggal 0,2 g.detik/l selama 8 jam reaksi. *Loading* Ni 5% menunjukkan aktivitas terbaik dengan konversi CH₄ sebesar 97,06%, selektivitas CO 73,14%, selektivitas H₂ 83,38%, yield CO 70,99%, yield H₂ 80,93%, dan rasio H₂/CO 2,28. Uji stabilitas menunjukkan kestabilan selama 48 jam reaksi.

Kata kunci : gas sintesis; katalis; oksidasi parsial metana

Pendahuluan

Metana merupakan komponen utama dalam gas bumi. Senyawa ini telah digunakan secara luas dalam industri untuk pembuatan gas sintesis dan bahan bakar. Gas sintesis dapat diproduksi dari metana melalui reaksi reformasi kukus, reaksi reformasi CO₂ dan reaksi parsial oksidasi. Reaksi reformasi kukus bersifat sangat endotermis ($\Delta H = +250,5$ kJ/mol), begitu pula reaksi reformasi CO₂ (Kroll dkk, 1997). Oleh sebab itu, selama reaksi berlangsung diperlukan sejumlah kalor untuk mendapatkan konversi reaksi yang tinggi. Kekurangan lain dari reaksi reformasi kukus adalah rasio H₂/CO sekitar 3 sehingga tidak dapat digunakan secara langsung sebagai sumber gas sintesis untuk reaksi Fischer-Tropsch dan sintesis metanol yang membutuhkan rasio H₂/CO sekitar 2, yang artinya kadar H₂ berlebih. Kendala serupa ditemui dalam reaksi reformasi CO₂ dengan rasio H₂/CO sekitar 1 sehingga kadar CO berlebih.

Reaksi oksidasi parsial metana merupakan satu solusi menarik untuk mengeliminasi kekurangan dari dua reaksi di atas. Reaksi oksidasi parsial metana memiliki keunggulan yaitu reaksi bersifat sedikit eksotermis ($\Delta H = -36$ kJ/mol) sehingga tidak memerlukan energi yang intensif. Selain itu, waktu tinggal reaksi yang singkat menyebabkan ukuran reaktor yang kecil sehingga biaya investasi dapat dikurangi.



Ada beberapa kendala yang dihadapi dalam penggunaan katalis Ni/Al₂O₃ yang berhubungan dengan deaktivasi katalis, diantaranya adalah pembentukan deposit karbon pada permukaan Ni, pembentukan Ni inaktif yaitu NiAl₂O₄, serta penggumpalan beberapa inti aktif menjadi satu inti aktif dengan ukuran partikel yang lebih besar. Deposit karbon dapat dikurangi dengan menggunakan *loading* Ni yang rendah tetapi tetap dalam jumlah yang cukup sebagai tempat berlangsungnya reaksi. Pembentukan inaktif Ni, NiAl₂O₄, dapat dicegah dengan penambahan promotor MgO yang akan membentuk MgAl₂O₄ dan berfungsi sebagai lapisan pelindung (Cheng dkk, 1996). Sintering Ni dapat dicegah dengan penambahan promotor CeO₂. Promotor ini akan mencegah segregasi (penggumpalan) Ni (Montoya dkk, 2000).

Selain berpengaruh terhadap jumlah deposit karbon yang terbentuk, *loading* Ni juga mempengaruhi luas permukaan keseluruhan, volume pori serta dispersi dari Ni pada katalis.

Mengingat sangat besarnya pengaruh dari *loading* Ni maka penelitian ini akan mempelajari pengaruh dari besarnya *loading* Ni terhadap karakter, aktivitas, dan stabilitas katalis sehingga pada akhirnya mendapatkan *loading* Ni yang tepat

^{*)} Program Studi Teknik Kimia, Departemen Teknik Gas dan Petrokimia
Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Kampus Baru UI Depok 16424
Telp. (021)7863516, Fax. (021)7863515, E-mail : widodo@che.ui.edu

untuk reaksi oksidasi parsial metana menghasilkan gas sintesis.

Penelitian

Preparasi katalis

Tahap pertama adalah preparasi penyangga γ - Al_2O_3 dengan metode sol gel dengan menambahkan promotor MgO. Bahan awal Aluminium Isopropoxide - ALIP (Aldrich) dilarutkan dalam air bebas ion. Kemudian $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Merck, 99%) ditambahkan kedalam larutan ALIP sambil diaduk dan dipanaskan. HNO_3 ditambahkan ke dalam *slurry* sampai menghasilkan sol berwarna putih. Sol di refluks hingga menghasilkan *wet gel*. *Wet gel* dikeringkan sehingga membentuk *dry gel* yang dilanjutkan dengan dikalsinasi pada suhu 600°C . Terbentuklah serbuk γ - Al_2O_3 .

Tahapan yang kedua adalah impregnasi Ni sebagai inti aktif pada penyangga γ - Al_2O_3 dengan menambahkan promotor CeO_2 . Prekursor inti aktif $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Merck, 99%) dan promotor $\text{Ce}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Merck, 99,5%) dilarutkan dalam air bebas ion sehingga membentuk larutan garam $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ dan $\text{Ce}(\text{NO}_3)_2$. Selanjutnya dilakukan impregnasi dengan metode *incipient wetness* dengan variasi *loading* Ni sebesar 3, 5, dan 10%. Tahap akhir dilakukan pengeringan dan dilanjutkan dengan kalsinasi hingga dihasilkan katalis $\text{Ni-CeO}_2/\text{MgO}/\gamma$ - Al_2O_3 .

Uji aktivitas dan stabilitas katalis

Uji aktivitas dan stabilitas dimulai dengan menaikkan suhu reaktor (*fixed bed reactor*) sampai dengan 700°C sambil dialirkan gas *carrier* Argon (high purity/HP) dengan laju 60 ml/mnt. Kemudian katalis direduksi dengan H_2 (HP) dengan laju 40 ml/mnt selama 1 jam. Selanjutnya suhu reaktor dinaikkan sampai dengan suhu reaksi yaitu 800°C sambil dialirkan gas Argon. Setelah temperatur reaktor mencapai temperatur reaksi yang diinginkan, umpan berupa O_2 (HP) dan CH_4 (HP) dengan perbandingan O_2 dan CH_4 sebesar 1,2:2 dan total laju alir kedua umpan tersebut adalah 150 ml/mnt dialirkan ke dalam reaktor yang berisi katalis dengan gas *carrier* Argon.

Gas keluaran reaktor dianalisa dengan menggunakan GC-TCD merek SHIMADZU dengan kolom karbon aktif yang *online* dengan reaktor dan air keluaran reaktor di trap menggunakan *water trap*. Laju alir keluar gas diukur dengan menggunakan *bubble soap*. Data dari luas *peak* dan laju alir gas diolah sehingga diperoleh hasil berupa konversi, selektivitas, dan rasio produk pada kondisi tertentu.

Karakterisasi katalis

Karakterisasi yang dilakukan adalah Brunauer, Emmet and Teller (BET), X-ray diffraction) XRD, *Chemisorption*, serta analisis deposit karbon. Karakterisasi BET dengan menggunakan alat Autosorb-6 merek Quatachrome. Karakterisasi XRD

dengan menggunakan alat Shimadzu Goniometer VG-208R. Analisis dilakukan dengan menggunakan X-ray $\text{CuK}\alpha$, jangkauan sudut difraksi $2\theta = 0-90^\circ$ dengan kecepatan pengamatan $4,0^\circ/\text{menit}$. Karakterisasi *Chemisorption* dengan menggunakan H_2 pada keadaan vakum. Analisis deposit karbon dilakukan dengan mengalirkan gas O_2 pada katalis yang telah terpakai untuk reaksi dengan laju alir 100 ml/mnt pada temperatur 700°C .

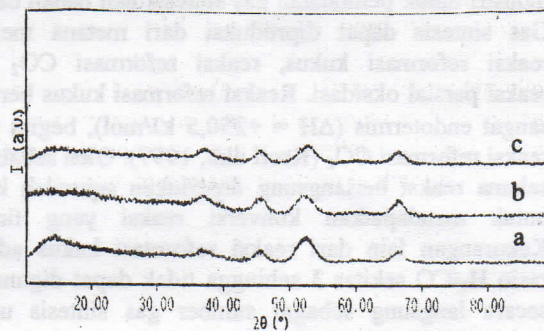
Hasil Penelitian dan Pembahasan

Karakter katalis

Hasil karakterisasi BET menunjukkan bahwa luas permukaan katalis menurun dengan bertambahnya *loading* Ni (Tabel 1). Hal ini disebabkan oleh penutupan pori Al_2O_3 oleh Ni karena, sehingga volume pori juga menurun dengan bertambahnya *loading* Ni. Disamping itu terjadinya penggerombolan dan penumpukan Ni sehingga permukaan Ni yang terbuka sebagai tempat berlangsungnya reaksi menjadi berkurang.

Tabel 1. Hasil karakterisasi BET

Katalis	Luas Permukaan (m^2/g)	Volume Pori (ml/g)
3% Ni-CeO ₂ /MgO/Al ₂ O ₃	188,1	0,0695
5% Ni-CeO ₂ /MgO/Al ₂ O ₃	183,6	0,0674
10% Ni-CeO ₂ /MgO/Al ₂ O ₃	175,9	0,0651



Gambar 1. Hasil Karakterisasi XRD untuk katalis $\text{Ni-CeO}_2/\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ dengan *loading* Ni 3% (a), 5% (b) dan 10% (c)

Dari Gambar 1 di atas terlihat bahwa pada ketiga katalis tersebut terdapat senyawa NiO , γ - Al_2O_3 , CeO_2 , MgAl_2O_4 . Katalis yang dikarakterisasi adalah katalis sebelum direduksi sehingga yang terdeteksi adalah senyawa NiO . Hasil karakterisasi ini juga menunjukkan kenaikan *loading* Ni menghasilkan puncak NiO yang semakin tinggi intensitasnya. Intensitas yang semakin tinggi ini menunjukkan ukuran partikel yang semakin besar. Senyawa Al_2O_3 yang terdeteksi adalah γ - Al_2O_3 sesuai dengan yang diharapkan. MgAl_2O_4 merupakan hasil interaksi

antaran MgO dengan Al₂O₃ yang diharapkan dapat menghambat pembentukan Ni inaktif yaitu NiAl₂O₄. Dari hasil karakterisasi ini terbukti tidak terdeteksi adanya NiAl₂O₄.

Hasil dari perhitungan diameter partikel ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan diameter partikel hasil karakterisasi XRD

Katalis	Diameter Partikel (nm)
3 % Ni-CeO ₂ /MgO/Al ₂ O ₃	3,14805
5 % Ni-CeO ₂ /MgO/Al ₂ O ₃	3,14806
10 % Ni-CeO ₂ /MgO/Al ₂ O ₃	3,93509

Tabel 2 di atas menunjukkan adanya kenaikan diameter Ni dengan kenaikan loading Ni. Hal ini disebabkan oleh terjadinya penggerombolan partikel Ni kemudian membentuk partikel Ni dengan ukuran yang lebih besar. Semakin tinggi loading Ni semakin besar kemungkinan terjadinya penggerombolan sehingga terbentuk partikel Ni dengan ukuran yang semakin besar pula.

Hasil karakterisasi ini sesuai dengan hasil karakterisasi BET yang telah dibahas sebelumnya yang menunjukkan bahwa pada loading Ni yang tinggi diameter partikel menjadi lebih besar sehingga menurunkan luas permukaan total

Chemisorption dilakukan untuk mengetahui dispersi dari inti aktif Ni. Dari banyaknya H₂ yang terserap oleh Ni yang terdapat pada lapisan teratas, dan dengan mengetahui banyaknya Ni sebenarnya dari besarnya loading, akan dapat dibandingkan banyaknya partikel Ni yang berada dipermukaan dan berfungsi sebagai tempat terjadinya reaksi dengan total partikel Ni yang ada. Inilah yang disebut dispersi. Hasil yang didapat dari karakterisasi ini dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Hasil karakterisasi *Chemisorption*

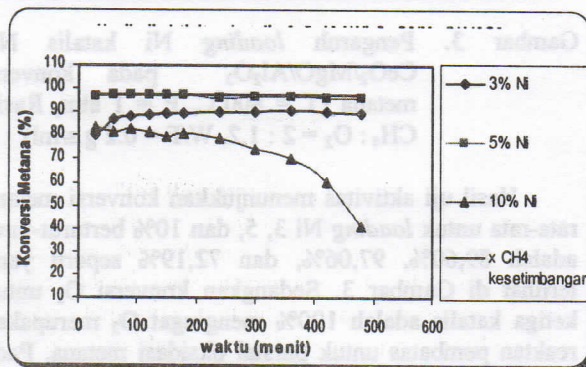
Katalis	H ₂ teradsorp (mol)	Dispersi (%)
3 % Ni-CeO ₂ /MgO/Al ₂ O ₃	0,0031	5,96
5 % Ni-CeO ₂ /MgO/Al ₂ O ₃	0,0031	3,61
10 % Ni-CeO ₂ /MgO/Al ₂ O ₃	0,00306	1,79

Pada table di atas terlihat bahwa dispersi Ni sebagai inti aktif menurun dengan penambahan loading. Hal ini disebabkan oleh penumpukan Ni juga penutupan pori alumina oleh Ni yang terjadi bila terdapat partikel Ni dalam jumlah yang besar. Sehingga perbandingan jumlah Ni yang berada dipermukaan dengan total Ni pada katalis menurun dengan kenaikan loading.

Uji aktivitas dan stabilitas

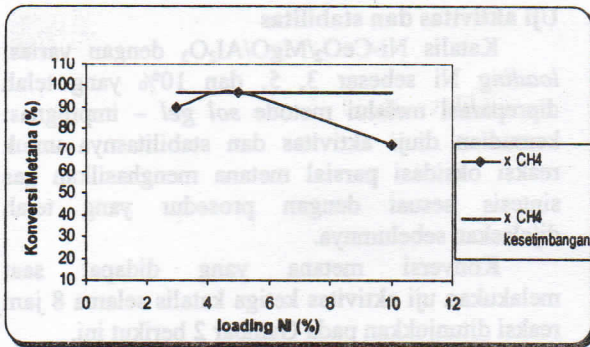
Katalis Ni-CeO₂/MgO/Al₂O₃ dengan variasi loading Ni sebesar 3, 5, dan 10% yang telah dipreparasi melalui metode *sol gel* - impregnasi kemudian diuji aktivitas dan stabilitasnya untuk reaksi oksidasi parsial metana menghasilkan gas sintesis sesuai dengan prosedur yang telah dijelaskan sebelumnya.

Konversi metana yang didapat saat melakukan uji aktivitas ketiga katalis selama 8 jam reaksi ditunjukkan pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Pengaruh waktu reaksi katalis Ni-CeO₂/MgO/Al₂O₃ pada konversi metana (T = 800°C, P = 1 atm, Rasio CH₄ : O₂ = 2 : 1.2, W/F = 0.2 g.s/ml)

Pada Gambar 2 terlihat bahwa katalis dengan loading Ni 3% berada cukup stabil pada konversi metana 89-90%. Sampai dengan pengamatan pada jam ke-8 belum menunjukkan adanya tanda-tanda penurunan aktivitas karena deaktivasi katalis. Katalis dengan loading Ni 5% menunjukkan konversi metana sebesar 97% pada awal reaksi dan terus stabil sampai dengan jam kedelapan, juga tidak diamati penurunan aktivitas. Sedangkan pada katalis dengan loading Ni 10% pada awalnya menunjukkan konversi sebesar 83%, paling rendah diantara ketiga katalis. Selanjutnya sampai dengan jam ketiga konversi metana mengalami penurunan tetapi belum terlalu drastis sampai dengan 79%. Baru kemudian mulai dari jam keempat sampai dengan jam kedelapan konversi metana terus menurun drastis dari 78% sampai dengan 41%. Hasil pengamatan menunjukkan ketika terjadi penurunan konversi metana terjadi pula penurunan laju alir produk keluar dari reaktor. Penurunan laju alir ini awalnya tidak terlalu besar tetapi kemudian menurun drastis. Penurunan aktivitas ini diduga disebabkan oleh deaktivasi katalis karena pembentukan deposit karbon yang menempel dipermukaan katalis sehingga menyebabkan *pressure drop* yang besar dan *plugging* pada reaktor. Terjadinya pembentukan deposit karbon ini akan dibuktikan dengan melakukan analisis deposit karbon yang akan dibahas selanjutnya.



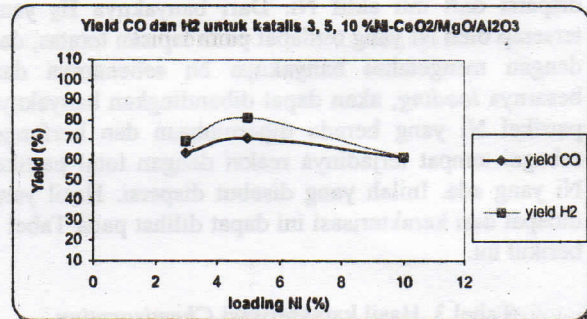
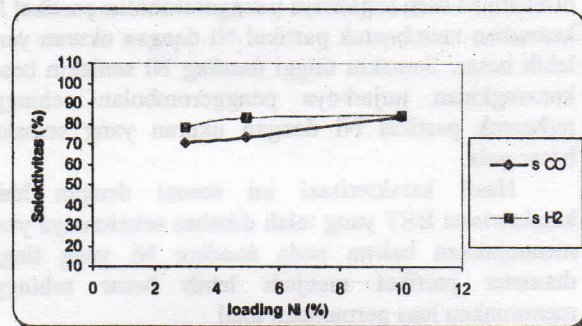
Gambar 3. Pengaruh loading Ni katalis Ni-CeO₂/MgO/Al₂O₃ pada konversi metana (T = 800°C, P = 1 atm, Rasio CH₄: O₂ = 2 : 1.2, W/F = 0.2 g.s/ml)

Hasil uji aktivitas menunjukkan konversi metana rata-rata untuk loading Ni 3, 5, dan 10% berturut-turut adalah 89,60%, 97,06%, dan 72,19% seperti yang terlihat di Gambar 3. Sedangkan konversi O₂ untuk ketiga katalis adalah 100% mengingat O₂ merupakan reaktan pembatas untuk parsial oksidasi metana. Pada percobaan ini dimana dialirkan O₂ sedikit berlebih, yakni dengan rasio CH₄:O₂ = 2:1,2. Oksigen tetap habis terkonsumsi karena juga terjadi reaksi oksidasi metana total sebagai reaksi samping. Hal ini terbukti dengan terdapatnya CO₂ pada aliran produk. Konversi metana tertinggi ditunjukkan oleh katalis dengan loading Ni 5% yang hampir mendekati konversi kesetimbangan untuk reaksi ini yaitu 97,1%, dan yang terendah adalah pada loading Ni 10%. Sedangkan katalis dengan loading Ni 3% menunjukkan stabilitas yang cukup baik tetapi aktivitasnya masih di bawah loading Ni 5%.

Pada katalis dengan loading Ni 3% tidak tersedia cukup inti aktif sebagai tempat terjadinya reaksi oksidasi parsial metana menjadi gas sintesis, sehingga konversi metana masih cukup jauh dari konversi kesetimbangan meskipun katalis ini memiliki luas permukaan terbesar, diameter partikel tertinggi dan dispersi tertinggi dibandingkan dua katalis yang lain. Hasil ini menunjukkan bahwa jumlah Ni tidak memadai. Jumlah inti aktif yang tepat sehingga katalis menunjukkan aktivitas dan stabilitas paling baik adalah 5% dimana terbukti dengan konversi metana yang sangat dekat dengan konversi kesetimbangan. Sedangkan katalis dengan loading Ni 10% memiliki inti aktif Ni yang terlalu banyak menyebabkan penggerombolan dan penutupan pori seperti yang terlihat pada hasil karakterisasi BET, diameter partikel yang besar, dan dispersi yang terendah. Katalis ini menunjukkan konversi metana rata-rata yang rendah dimana konversi metana pada awal reaksi terendah diantara ketiga katalis dan kemudian mengalami penurunan drastis pada jam keempat. Hal ini disebabkan oleh deaktivasi katalis yang akan dibahas kemudian.

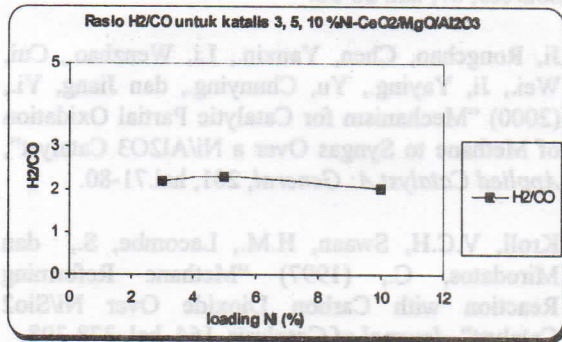
Hasil uji aktivitas menunjukkan selektivitas dan yield dari ketiga katalis terhadap produk, yaitu CO dan H₂ seperti yang terlihat pada Gambar 4 a dan b.

Selektivitas adalah perbandingan mol produk yang terbentuk dengan mol reaktan yang bereaksi. Sedangkan yield adalah perbandingan mol produk yang terbentuk dengan mol reaktan yang masuk. Selektivitas CO dan H₂ mengalami kenaikan dengan meningkatnya loading Ni. Yield menunjukkan puncaknya tertinggi pada loading Ni 5% dimana sesuai dengan konversi metana yang puncaknya terdapat pada loading Ni 5%. Hal ini disebabkan oleh tingginya konversi metana menghasilkan produk yang jumlahnya lebih besar, sehingga yield produk juga tinggi.



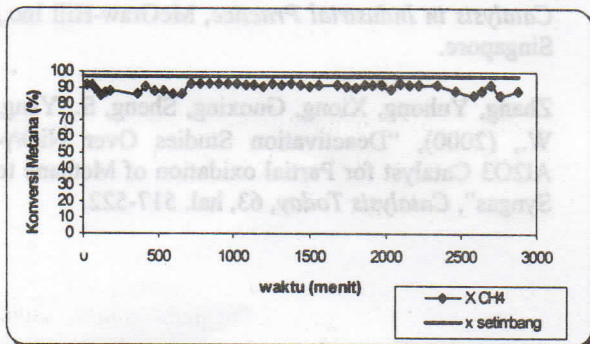
Gambar 4. Pengaruh loading Ni katalis Ni-CeO₂/MgO/Al₂O₃ pada selektivitas dan yield produk (T = 800°C, P = 1 atm, Rasio CH₄: O₂ = 2 : 1.2, W/F = 0.2 g.s/ml)

Rasio H₂/CO menunjukkan angka di atas 2, seperti yang terlihat pada Gambar 5, yaitu 2,20 untuk loading Ni 3%, 2,28 untuk loading Ni 5% dan 2,02 untuk loading Ni 10%.



Gambar 5. Pengaruh loading Ni katalis Ni-CeO₂/MgO/Al₂O₃ pada rasio H₂/CO (T = 800°C, P = 1 atm, Rasio CH₄ : O₂ = 2 : 1.2, W/F = 0.2 g.s/ml)

Selanjutnya dilakukan uji aktivitas dan stabilitas untuk katalis dengan loading Ni 5% yang telah menunjukkan kinerja terbaik. Uji ini dilakukan selama 48 jam untuk membuktikan bahwa katalis ini tetap terjaga kinerjanya dalam kurun waktu yang cukup lama. Hasil uji aktivitas dan stabilitas ini terlihat pada Gambar 6 berikut ini.



Gambar 6. Stabilitas katalis 5%Ni-CeO₂/MgO/Al₂O₃ (T = 800°C, P = 1 atm, Rasio CH₄ : O₂ = 2 : 1.2, W/F = 0.2 g.s/ml)

Tabel 4. Hasil uji aktivitas dan stabilitas katalis 5% Ni-CeO₂/MgO/Al₂O₃ selama 48 jam

Konversi CH ₄	90,38 %
Selektivitas H ₂	86,48 %
Selektivitas CO	84,35 %
Rasio H ₂ /CO	2,06

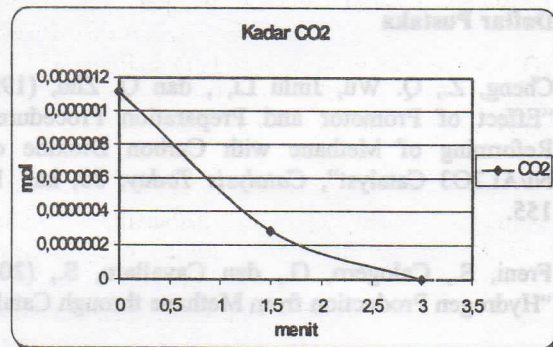
Pada Gambar 6 terlihat bahwa konversi CH₄ berada pada angka diatas 90%. Konversi ini tidak setinggi pada uji kinerja sebelumnya kemungkinan besar disebabkan fluktuasi oleh flowmeter gas reaktan. Stabilitasnya cukup baik karena hanya mengalami beberapa penurunan konversi metana yang tidak terlalu berarti. Konversi CH₄ rata-rata adalah 90,38%, dan

selektivitas H₂ dan CO sebesar 86,48% dan 84,35%, seperti yang terlihat pada Tabel 4 di atas.

Analisis deposit karbon

Seluruh katalis yang telah diuji aktivitas pada reaksi oksidasi parsial metana menghasilkan gas sintesis kemudian diuji untuk mengetahui keberadaan deposit karbon sebagai penyebab deaktivasi katalis.

Pengujian dilakukan dengan mengalirkan O₂ berlebih sebesar 100 ml/menit ke reaktor yang berisi katalis habis pakai tersebut dengan berat masing-masing 0,1 gr pada temperatur reaktor 700°C. Uji dilakukan selama 3 menit dan gas keluaran dianalisa di GC. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada katalis dengan loading Ni 3 dan 5% tidak ditemukan adanya gas CO₂ sebagai hasil reaksi antara deposit karbon dengan oksigen. Akan tetapi pada katalis dengan loading Ni 10% terdapat gas CO₂ yang dihasilkan dengan jumlah yang semakin lama semakin menurun, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 berikut ini.



Gambar 7. Hasil analisa deposit karbon pada katalis 10% Ni-CeO₂/MgO/Al₂O₃ (T = 700°C, P = 1 atm, laju alir O₂ = 100 ml/menit)

Katalis dengan loading Ni 3% dan 5% yang telah digunakan untuk reaksi oksidasi parsial metana selama 8 jam belum terdeteksi adanya deposit karbon. Hasil yang berkebalikan didapatkan untuk loading Ni 10% yang juga sudah digunakan untuk reaksi oksidasi parsial metana selama 8 jam. Hal ini disebabkan oleh kandungan Ni yang tinggi. Deposit karbon inilah yang menyebabkan deaktivasi katalis pada jam keempat. Deposit karbon menempel pada permukaan katalis menyebabkan penutupan inti aktif, sehingga terjadi kenaikan *pressure drop* dan juga *plugging* pada reaktor.

Kesimpulan

1. Luas permukaan ruah katalis menurun dengan bertambahnya loading Ni disebabkan oleh penyumbatan pori Al₂O₃ oleh Ni

2. Diameter partikel meningkat dengan bertambahnya loading Ni disebabkan oleh penggerombolan Ni membentuk partikel dengan ukuran yang lebih besar.
3. Dispersi menurun dengan bertambahnya loading Ni disebabkan oleh penyumbatan pori Al₂O₃ oleh Ni.
4. Katalis Ni-CeO₂/MgO/Al₂O₃ dengan loading Ni 5% memiliki aktivitas dan stabilitas yang terbaik dibandingkan loading Ni 3% dan 10%. Aktivitas reaksi oksidasi parsial metana pada suhu operasi 800°C, tekanan atmosferik, CH₄/O₂ = 1,67, dan waktu tinggal 0,2 g.detik/l adalah konversi CH₄ sebesar 97,06% mendekati konversi kesetimbangan sebesar 97,1%, selektivitas CO sebesar 73,14% dan selektivitas H₂ sebesar 83,38%, serta rasio H₂/CO sebesar 2,28. Stabilitasnya terjaga sampai dengan 48 jam reaksi.
5. Katalis dengan loading Ni 10% dalam reaksi oksidasi parsial metana selama 8 jam menunjukkan telah terbentuknya deposit karbon. Sedangkan katalis dengan loading Ni 3% dan 5% tidak menunjukkan adanya deposit karbon.

Daftar Pustaka

Cheng, Z., Q. Wu, Jinlu Li, dan Q. Zhu, (1996), "Effect of Promotor and Preparation Procedure in Reforming of Methane with Carbon Dioxide over Ni/AL2O3 Catalyst", *Catalysis Today*, 30, hal. 147-155.

Freni, S., Calogero, G., dan Cavallaro, S., (2000), "Hydrogen Production from Methane through Catalytic

Partial Oxidation Reactions", *Journal of Power Sources*, 87, hal. 28-38.

Ji, Rongchao, Chen, Yanxin., Li, Wenzhao., Cui, Wei., Ji, Yaying., Yu, Chunying., dan Jiang, Yi., (2000) "Mechanism for Catalytic Partial Oxidation of Methane to Syngas Over a Ni/Al2O3 Catalyst", *Applied Catalysis A: General*, 201, hal.71-80.

Kroll, V.C.H, Swaan, H.M., Lacombe, S., dan Mirodatos, C., (1997) "Methane Reforming Reaction with Carbon Dioxide Over Ni/Sio2 Catalyst", *Journal of Catalysis*, 164, hal. 378-398.

Montoya, J.A., E. Romero-Pascual, Gimón, C.P., Angel, Del, Monzon, A., (2000), "Methane Reforming with CO2 over Ni/ZrO2-CeO2 Catalysts Prepared by Sol-gel", *Catalysis Today*, 63: 1, hal. 71-85.

Olsbye, Unni, Moen, Oddrun, Slagtern, Ase, Dahl, Ivar., (2002), "An Investigation of The Coking Properties of Fixed and Fluid Bed Reactors During Methane-To-Synthesis Gas Reactions", *Applied Catalysis A: General*, 228: 1-2, hal. 289-303.

Satterfield, dan Charles N., (1991), "Heterogeneous Catalysis in Industrial Practice, McGraw-Hill Inc., Singapore.

Zhang, Yuhong, Xiong, Guoxing, Sheng, S., Yang, W., (2000), "Deactivation Studies Over NiO/γ-Al2O3 Catalyst for Partial oxidation of Methane to Syngas", *Catalysis Today*, 63, hal. 517-522.