

Katalis Bifungsional Ni/MgO untuk Reaksi Kondensasi dan Hidrogenasi Furfural dalam Satu Tahap Menghasilkan Senyawa Turunan Alkana C8–C13

Siti Mariyah Ulfa^{1)*}, Indah Nur Pramesti¹⁾

¹⁾ Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya,

Diterima 21 Juli 2015, direvisi 26 Agustus 2015

ABSTRAK

Katalis Ni/MgO didesain sebagai katalis bifungsional untuk reaksi kondensasi furfural dan aseton dilanjutkan dengan reaksi hidrogenasi menghasilkan senyawa turunan alkana C8–C13 dalam satu tahap reaksi. Katalis Ni/MgO disiapkan melalui metode impregnasi basah menggunakan $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ yang diimbangkan pada MgO. Hasil karakterisasi dengan XRD menunjukkan puncak spesifik logam Ni pada $2\theta = 44,27^\circ$; $51,59^\circ$ dan $75,89^\circ$. Analisis fisisorpsi menggunakan adsorpsi gas N_2 menunjukkan penurunan luas permukaan total MgO membentuk struktur mikropori. Uji aktivitas katalis menggunakan furfural dan aseton (1:1) dengan sistem *autoclave* batch reactor, diuji pada suhu 100–180°C dan waktu reaksi 7–8 jam dalam pelarut air. Katalis Ni/MgO menunjukkan aktivitas hidrogenasi terbaik pada suhu reaksi 150°C dengan konversi produk sebesar 95,69%. Karakterisasi GC-MS menunjukkan terbentuknya produk 4-(2-furanyl)-2-butanon; 1,5-di(2-furanyl)-3-pentanon dan 1,5-di(2-furanyl)-3-(1-pentenon), dari reduksi ikatan C=C alkena pada furfuralidene aseton.

Kata kunci : furfural, aseton, kondensasi, hidrogenasi, katalis Ni/MgO, furfuralidene aseton

ABSTRACT

Ni/MgO catalyst has been designed as bifunctional catalyst for condensation reaction of furfural and acetone followed by hydrogenation reaction to produce C8–C13 alkane derivatives in one step reaction. Ni/MgO catalyst was prepared by wet impregnation methods using $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ and MgO as supporting material. The characterization by X-ray diffraction (XRD) showed the characteristic of Ni on $2\theta = 44,27^\circ$; $51,59^\circ$ and $75,89^\circ$. Isotherm adsorption using N_2 gas gave the decreasing surface area of MgO and forming microporous structure. The activity test of the catalyst was carried out using furfural and acetone (1:1) in autoclave bath system, heated at 100–180°C for 7–8 hours in the presence of water. Ni/MgO catalyst showed the good activity when hydrogenation reaction performed at 150°C lead to the conversion of alkane derivatives in 95.69%. Characterization of the product by GC-MS showed the formation of 4-(2-furanyl)-2-butanone; 1,5-di(2-furanyl)-3-pentanone and 1,5-di(2-furanyl)-3-(1-pentenone) from reduction of C=C alkene of furfuralidene acetone.

Keywords : furfural, acetone, condensation, hydrogenation, Ni/MgO catalyst, furfuralidene acetone

PENDAHULUAN

Eksplorasi sumber energi terbarukan menjadi topik yang banyak dibahas saat ini karena ketersediaan bahan bakar fosil yang semakin berkurang. Biomassa merupakan

sumber energi alternatif terbarukan yang potensial karena menghasilkan bahan bakar cair secara langsung diakhir prosesnya [1]. Biomassa yang mengandung hemiselulosa seperti tongkol jagung, bagas, sekam dan jerami padi dapat dikonversi menjadi furfural melalui proses hidrolisis dan dehidrasi menggunakan katalis asam HCl atau H_2SO_4 5–10% [2].

Furfural merupakan senyawa heterosiklis yang mengandung gugus fungsi aldehida

*Corresponding author:

E-mail: ulfa.ms@ub.ac.id

dengan rumus molekul $C_5H_4O_2$. Furfural memiliki ikatan rangkap C=C dan ikatan C=O yang terkonjugasi sehingga dapat diderivatisasi menjadi berbagai senyawa kimia, misalnya furfural alkohol dan furfuralidena aseton [3]. Alkana sebagai senyawa penyusun utama bahan bakar juga dapat disintesis dari furfural melalui beberapa tahapan, yaitu reaksi kondensasi furfural dan aseton, dilanjutkan reaksi hidrogenasi dan deoksigenasi menjadi turunan alkana rantai C8–C13 [4].

Reaksi kondensasi merupakan reaksi yang biasa dilakukan untuk memperpanjang ikatan karbon jenuh C–C dalam sintesis senyawa organik. Reaksi ini menggunakan katalis asam atau basa membentuk intermediet enol/enolat. Katalis basa Bronsted, seperti NaOH dan KOH memiliki reaktivitas yang tinggi tetapi sulit dipisahkan diakhir reaksi sehingga pemakaiannya kurang efisien [5]. Penggunaan katalis heterogen lebih menguntungkan karena mudah dipisahkan dari campuran produknya dan dapat dipakai beberapa kali (*reusable*) dengan efisiensi yang hampir sama [6].

Magnesium oksida (MgO) merupakan oksida yang bersifat basa tinggi ($pK_a = 26$). Katalis MgO dilaporkan memiliki aktivitas yang lebih tinggi dibandingkan MgO/ γ -Al₂O₃ dalam pembentukan trimerik glikol ester melalui reaksi *self condensation* N-butiraldehid [7]. Penelitian yang dilaporkan oleh Ryzki dan Amaniyah (2015) menunjukkan bahwa reaksi kondensasi furfural dan aseton menggunakan katalis MgO dalam pelarut air memberikan konversi furfuralidena aseton sebanyak 99% [8]. Reaksi hidrogenasi adalah reaksi kimia antara molekul H₂ dengan senyawa lain untuk mereduksi ikatan jenuh menjadi tak jenuh. Reaksi ini biasanya dikatalisis oleh logam seperti Cu, Ni, Pt, Cr dan Pd yang didepositkan pada oksida logam [9]. Reaksi hidrogenasi menggunakan logam Ni telah dilaporkan oleh Gandia dan Montes. Logam Ni menunjukkan aktivitas hidrogenasi yang tinggi pada senyawa aromatik, alkena dan senyawa karbonil [10]. Penelitian yang dilaporkan oleh Ulfa dkk (2014) tentang penggunaan Ni/ γ -Al₂O₃ untuk hidrogenasi furfural menjadi furfural alkohol menghasilkan konversi produk mencapai 100% [11]. Oleh karena itu, penggunaan logam Ni untuk reaksi hidrogenasi dinilai cukup efisien karena menghasilkan konversi produk yang tinggi dengan harga yang lebih murah

dibandingkan logam Pd atau Pt.

Perkembangan penggunaan katalis heterogen saat ini adalah desain katalis yang berfungsi ganda atau katalis bifungsional, yaitu satu katalis mempunyai sisi asam Lewis dan basa Lewis sekaligus. Katalis ini berperan ganda untuk dua reaksi yang berbeda. Penelitian yang dilaporkan oleh Dedsuksophon dkk tentang reaksi kondensasi dan hidrogenasi satu tahap pada furfural dengan katalis bifungsional Pd/Al₂O₃ menghasilkan konversi produk sebesar 26,28% dan selektivitas terhadap produk C8 sebesar 99,48%. Pemakaian logam Pd memberikan kontribusi besar terhadap selektivitas produk tetapi kurang efektif terhadap konversi reaksi kondensasi dan hidrogenasi dalam satu tahap reaksi [12]. Dalam penelitian ini dilaporkan hasil uji aktivitas katalis bifungsional Ni/MgO untuk reaksi kondensasi dan hidrogenasi furfural menjadi turunan alkana rantai C8-C13 dengan konversi produk mencapai 95,69%.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan. Alat yang digunakan adalah *tube furnace* modifikasi dan *autoclave oil batch reactor* kapasitas 100 mL. Bahan yang digunakan yaitu MgO (*technical grade*), Ni(NO₃)₂·6H₂O (FERAK-GMBH), metanol (MERCK), furfural (SIGMA-ALDRICH), aseton (Smart Lab), gas nitrogen (N₂) dan gas hidrogen (H₂) UHP, *aqua demineralisasi* HYDROBAT, dan diklorometana.

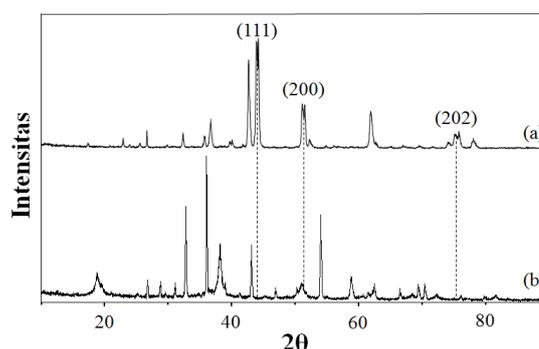
Pembuatan Katalis Ni/MgO. Katalis Ni/MgO dibuat menggunakan metode impregnasi basah dengan kadar Ni teoritis sebesar 20% (b/b) untuk tiap 1 gr massa MgO. Garam Ni(NO₃)₂·6H₂O sebanyak 12,38 gram dilarutkan dalam 35 mL metanol, kemudian ditambah dengan 8,3 gram MgO dan diaduk menggunakan pengaduk magnet pada suhu ruang (27°C) selama 24 jam. Sisa pelarut diuapkan menggunakan *rotary evaporator*. Padatan yang diperoleh dikeringkan pada suhu 50°C dalam oven hingga massa konstan. Padatan katalis dikalsinasi dengan aliran gas N₂ pada suhu 500°C selama 4 jam dan direduksi dengan aliran gas H₂ pada suhu 550°C selama 2 jam dalam *tube furnace*.

Uji Aktivitas Katalis. Katalis Ni/MgO diuji untuk reaksi kondensasi terhadap furfural dan aseton, dilanjutkan reaksi hidrogenasi dalam satu tahap. Sebelum digunakan, katalis Ni/MgO (0,2 gram) diaktivasi secara *in-situ* dalam *autoclave* sambil dipanaskan pada suhu 150°C dan tekanan 20 psi dalam atmosfer N₂ selama 60 menit. Perbandingan mol furfural dan aseton adalah 1:1. Furfural 1,16 g (0,012 mol; 1 mL) dan aseton 0,70 g (0,012 mol; 0,882 mL) dimasukkan kedalam *autoclave* dan divakumkan dengan gas N₂ sampai tekanan 40 psi. Reaksi kondensasi dilakukan selama 8 jam pada temperatur 100°C dengan pengadukan. Setelah 8 jam, gas N₂ dikeluarkan melalui kran samping dan *autoclave* diisi dengan gas H₂ sampai tekanan 50 psi. Reaksi hidrogenasi dilakukan selama 7 jam pada variasi suhu 120°, 150° dan 180°C dengan pengadukan. Setelah reaksi selesai, *autoclave* didinginkan sampai suhu ruang, produk cair dikeluarkan dan disaring untuk memisahkan katalis. Fase organik dipisahkan dengan ekstraksi cair-cair menggunakan diklorometana (DCM). Produk hasil reaksi didapatkan dengan menguapkan pelarut dengan *rotary evaporator* dengan suhu *water bath* 43°C. Senyawa hasil reaksi dianalisis dengan Spektrofotometer FT-IR Shimadzu 8400S dan GC-MS Shimadzu QP2010S dengan detektor FID dan kolom polisiloksan.

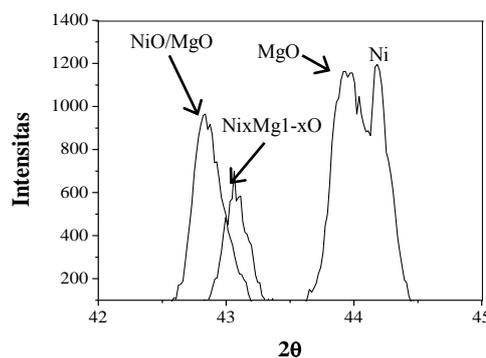
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Katalis. Analisis XRD digunakan untuk mengidentifikasi kristalinitas katalis MgO sebelum dan sesudah impregnasi oleh logam Ni. Keberhasilan impregnasi Ni pada permukaan MgO ditunjukkan dengan sudut difraksi (2θ) spesifik logam Ni pada nilai 2θ = 20°-80°. Difraktogram XRD katalis MgO dan Ni/MgO disajikan pada Gambar 1. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa MgO dan Ni/MgO mempunyai puncak-puncak dengan kristalinitas yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa impregnasi logam Ni tidak mengubah struktur kristal MgO menjadi padatan amorf. Munculnya puncak baru pada 2θ = 44,27°, 51,59° dan 75,89° adalah puncak spesifik logam Ni yang terbentuk dari reduksi ion Ni²⁺ pada suhu 550°C dengan aliran gas H₂. Index kristalinitas Ni yang teridentifikasi secara

berurutan adalah (111), (200) dan (202). Pada Gambar 2, nilai 2θ = 42,8° yang teridentifikasi dengan intensitas yang cukup tinggi menunjukkan puncak spesifik dari MgO [13] dan NiO [14]. Karakteristik puncak MgO dan NiO mempunyai nilai 2θ yang sangat berdekatan sehingga sulit dibedakan karena kedua material ini mempunyai struktur kristal garam yang sama dengan jari ionik yang hampir sama, yaitu Mg²⁺ = 72 pm dan Ni²⁺ = 69 pm [15]. Selain itu, pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa puncak spesifik MgO mengalami pergeseran ke nilai 2θ yang lebih besar setelah diimpregnasi dengan logam Ni. Pergeseran ini diasumsikan karena terjadi reaksi antara MgO dan Ni membentuk padatan Ni_xMg_{1-x}O seperti yang dilaporkan oleh Yamazaki dkk [16].



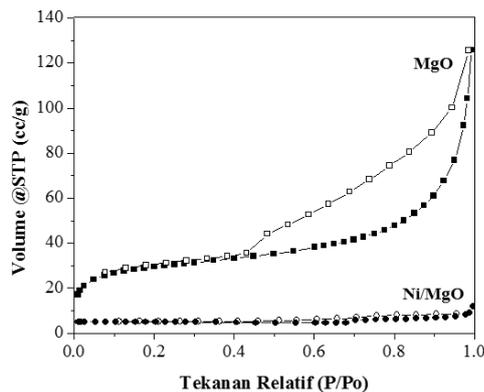
Gambar 1. Difraktogram XRD (a) Ni/MgO dan (b) MgO



Gambar 2. Difraktogram XRD Ni/MgO pada 2θ = 42-45°

Analisis fisisorpsi menggunakan isoterm adsorpsi gas N₂ terhadap katalis Ni/MgO dilakukan untuk menentukan luas permukaan spesifik, distribusi ukuran pori, volume pori total dan struktur pori yang terbentuk. Grafik isoterm adsorpsi katalis disajikan pada Gambar 3. Isoterm adsorpsi Ni/MgO menunjukkan adsorpsi tipe I karena tidak terbentuk histerisis, yaitu fenomena perbedaan jumlah gas yang

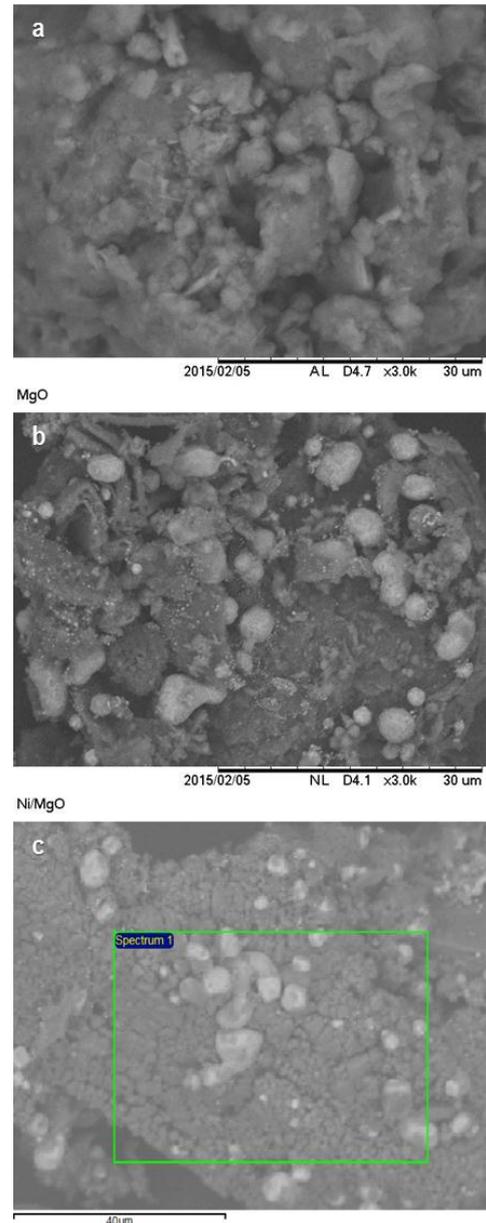
teradsorpsi dan terdesorpsi. Jumlah adsorbat pada isoterm desorpsi lebih besar dibandingkan adsorpsinya [17]. Selain itu, adsorpsi gas N₂ yang rendah pada P/Po < 0,4 tetapi terjadi peningkatan adsorpsi gas N₂ pada P/Po < 1,0. Menurut Rownaghi dkk [18], profil isoterm seperti ini adalah sifat dari material dengan luas permukaan yang rendah atau mikropori. Jika dibandingkan dengan isoterm adsorpsi MgO sebelum impregnasi yang menunjukkan adanya histerisis (tipe IV; mesopori), Ni/MgO menunjukkan penurunan luas permukaan yang signifikan. Hal ini dapat menyebabkan aktivitas katalitiknya menurun.



Gambar 3. Isoterm adsorpsi N₂ katalis Ni/MgO dan MgO

Tampak pada Tabel 1 disajikan hasil karakterisasi fisisorpsi katalis Ni/MgO yang didapatkan dari analisis data adsorpsi N₂. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa impregnasi Ni pada MgO menurunkan luas permukaan (S_{BET}) dan volume pori total (V_{meso}). Penurunan luas permukaan ini dapat disebabkan oleh teknik impregnasi yang menyebabkan kristalinitas material pendukung berkurang dan porinya tertutup oleh logam aktif [19]. Diameter mesopori (D_{meso}) Ni/MgO meningkat sebesar 0,02 pm jika dibandingkan dengan MgO, dan diameter mikropori (D_{micro}) meningkat drastis setelah proses impregnasi. Hal ini menunjukkan terjadi interaksi yang kuat antara logam Ni dan

MgO sehingga sebagian besar pori MgO terblokir oleh Ni menghasilkan material yang bersifat mikropori, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 [20].



Gambar 4. Profil permukaan katalis (a) MgO, (b) Ni/MgO pada perbesaran 3000 kali, dan (c) EDX Ni/MgO.

Tabel 1. Karakterisasi fisika katalis MgO dan Ni/MgO

Katalis	S_{BET}^a (m^2g^{-1})	V_{meso}^b (cm^3g^{-1})	D_{meso}^b (nm)	D_{micro}^c (nm)
MgO	96,106	0,184	3,818	0,432
Ni/MgO	1,984	0,014	3,838	0,821

a). S_{BET} (luas permukaan total) metode BET

b). V_{meso} (volume mesopori), D_{meso} (diameter mesopori) metode BJH

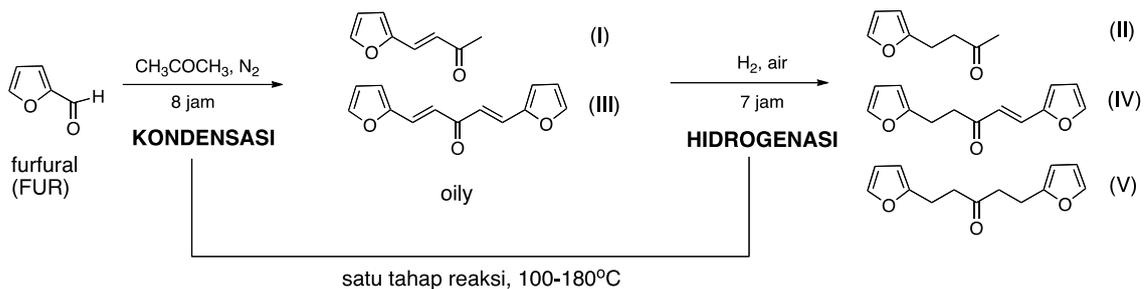
c). D_{micro} (diameter mikropori) metode HK

Analisis SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan katalis sebelum dan sesudah impregnasi logam, disajikan pada Gambar 4a dan 4b. Hasil analisis SEM menunjukkan bahwa terdapat mikro partikel pada permukaan MgO dengan pola penyebaran yang tidak beraturan (Gambar 4b). Hasil karakterisasi EDX menunjukkan kandungan logam Ni dalam Ni/MgO secara kualitatif yang ditembak secara acak pada spot tertentu adalah 16% (Gambar 4c).

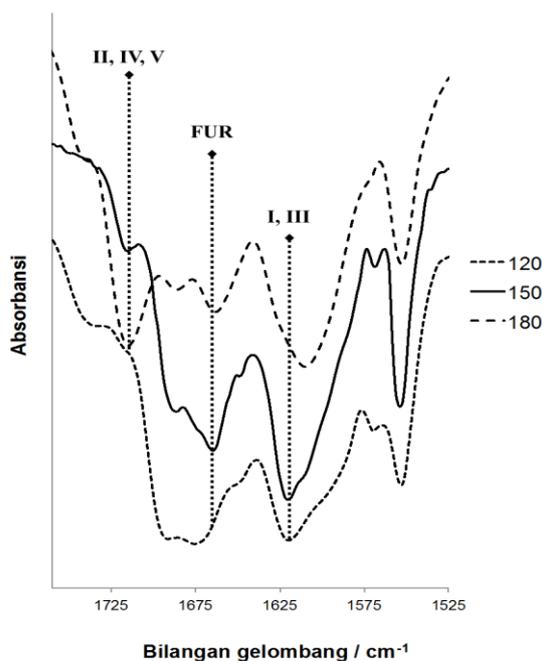
Uji Aktivitas Katalis. Uji aktivitas dilakukan terhadap reaksi kondensasi furfural dengan aseton dan dilanjutkan hidrogenasi dalam satu tahap reaksi. Reaksi dilakukan

dalam pelarut air demineralisasi yang berperan dalam reaksi kondensasi membentuk produk furfuraliliden aseton [21] dan membantu proses hidrogenasi dalam fasa cair melalui transfer hidrogenasi [22].

Reaksi kondensasi dilakukan pada suhu 100°C selama 8 jam dalam atmosfer gas N₂, dilanjutkan dengan hidrogenasi pada suhu 120, 150, dan 180°C selama 7 jam dalam atmosfer gas H₂. Penggantian gas N₂ menjadi gas H₂ dilakukan untuk menginisiasi terjadinya reaksi hidrogenasi [12]. Tahapan reaksi kondensasi dan hidrogenasi serta produk yang terbentuk ditunjukkan pada Gambar 5. Identifikasi produk hasil reaksi dilakukan dengan FT-IR dan GC-MS.



Gambar 5. Reaksi kondensasi furfural dan hidrogenasi menjadi turunan alkana



Gambar 6. Spektre FT-IR produk hidrogenasi

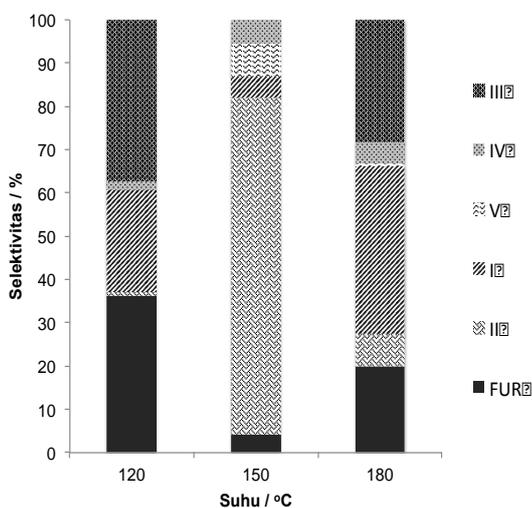
Spektre FT-IR senyawa hasil reaksi pada bilangan gelombang spesifik untuk beberapa jenis gugus karbonil (C=O) 1800-1500 cm⁻¹

ditunjukkan pada Gambar 6. Gugus C=O aldehyd (FUR) teridentifikasi pada 1664 cm⁻¹, C=O terkonjugasi (I, III) teridentifikasi pada 1620 cm⁻¹ dan 1714 cm⁻¹ untuk C=O terisolasi (II, IV, V). Hasil reaksi pada suhu 120°C masih menunjukkan adanya FUR yang belum bereaksi serta produk campuran dari hasil reaksi kondensasi dan hidrogenasi. Produk hidrogenasi dapat teridentifikasi dengan jelas saat suhu reaksi dinaikkan ke 150° dan 180°C dengan munculnya puncak 1714 cm⁻¹ yang merupakan identifikasi untuk C=O keton terisolasi dari produk II dan V. Hidrogenasi terjadi pada ikatan rangkap eksosiklis secara parsial (produk IV) dan menyeluruh (produk V). Sedangkan hidrogenasi pada cincin furan tidak terjadi dimungkinkan karena energi aktivasi (E_a) reaksi belum mencukupi. Selain itu, keterbatasan jumlah H₂ yang digunakan juga berpengaruh terhadap hasil reaksi hidrogenasi [23].

Data karakterisasi FT-IR tersebut didukung oleh hasil identifikasi GC-MS. Hasil GC menunjukkan masih terdapat FUR yang belum bereaksi dan terdeteksi pada waktu retensi

terpendek dalam kolom polisiloksan, diikuti oleh produk kondensasi dan hidrogenasi yang mempunyai afinitas lebih besar terhadap kolom. Produk kondensasi yang teridentifikasi berdasarkan pola fragmentasi ion spektrometri massa adalah 4-furanil-3-buten-2-on (I) dan 1,5-difuranil-1,4-pentadiena-3-on (III). Sedangkan produk hidrogenasi yang merupakan senyawa turunan alkana C8-C13 adalah 4-(2-furanil)-2-butanon (II); 1,5-di(2-furanil)-3-(1-pentenon) (IV) dan 1,5-di(2-furanil)-3-pentanon (V). Produk hidrogenasi II merupakan hasil reduksi C=C eksosiklis dari senyawa I. Produk IV dan V adalah hasil reduksi parsial dan menyeluruh dari senyawa III. Hidrogenasi lebih lanjut dapat membentuk produk alkohol maupun spiro seperti yang dilaporkan Xu dkk (2010), tetapi dalam kondisi reaksi yang ini produk-produk tersebut tidak dapat diidentifikasi [2].

Distribusi produk hasil reaksi hidrogenasi pada suhu 120, 150, dan 180°C dihitung berdasarkan analisis persen area pada GC-MS, disajikan pada Gambar 7. Pada suhu 120 dan 180°C, FUR masih tersisa diakhir reaksi, masing-masing sebanyak 36% dan 20%. Hal ini menunjukkan reaksi kondensasi belum sempurna karena luas permukaan total (S_{BET}) MgO berkurang drastis setelah impregnasi Ni (Tabel 1). Pada suhu reaksi ini, jumlah produk kondensasi I dan III yang belum terhidrogenasi tersisa sebanyak 23–38%, sedangkan produk hidrogenasi hanya terbentuk sebanyak 1–8%. Distribusi Ni yang kurang merata pada permukaan MgO diduga menyebabkan reaksi hidrogenasi kurang efektif.



Gambar 7. Distribusi produk hasil reaksi

Reaksi pada suhu 150°C menunjukkan konversi produk mencapai 95,69% dengan selektivitas terhadap produk II sebesar 77,54%. Reaksi kondensasi berlangsung dengan baik ditandai dengan terbentuknya produk I dan III dan secara langsung terhidrogenasi menjadi turunan alkana rantai C8 (II) dan C13 (IV dan V). Hal ini didukung oleh penelitian yang dilakukan Sharma (2014) pada reaksi hidrogenasi silosa menjadi silitol menggunakan katalis Raney-Nikel. Suhu reaksi optimum adalah 140–150°C dengan konversi sebesar 70%. Peningkatan suhu reaksi di atas 150°C dapat menginisiasi terjadinya pemutusan ikatan karbon seperti pada heksosa menjadi etilen glikol dan gliserol [24].

Beberapa faktor yang mempengaruhi reaksi kondensasi dan hidrogenasi satu tahap adalah katalis, temperatur reaksi dan tekanan gas hidrogenasi [12]. Katalis Ni/MgO yang digunakan dalam reaksi ini merupakan hasil impregnasi nikel nitrat ke dalam pengemban MgO. Adanya interaksi yang kuat antara logam Ni dan MgO sehingga ion Ni^{2+} secara total bergabung di atas permukaan dan menutupi kisi-kisi MgO [25]. Hal ini menyebabkan pada akhir reaksi masih diidentifikasi adanya FUR yang belum terkondensasi dan senyawa I dan III yang belum terhidrogenasi.

Keberadaan air dalam reaksi berpengaruh terhadap reaksi kondensasi furfural dan aseton serta reaksi hidrogenasi. Sesuai dengan penelitian Cheng dkk, penambahan air sebagai pelarut pada hidrogenasi dapat mempercepat reaksi dibandingkan dalam pelarut n-heptana. Efek positif dari interaksi antara air dan reaktan dapat mengimbangi efek negatif dari kelarutan hidrogen dalam pelarut [21].

KESIMPULAN

Impregnasi Ni pada MgO menghasilkan katalis bifungsional Ni/MgO. Uji aktivitas katalis terhadap reaksi kondensasi dan hidrogenasi satu tahap menunjukkan hasil terbaik pada suhu 150°C dengan waktu reaksi 7 jam dalam atmosfer N_2 (kondensasi), dilanjutkan 8 jam dalam atmosfer gas H_2 (hidrogenasi). Senyawa turunan alkana C8–C13 yang teridentifikasi adalah 4-(2-furanil)-2-butanon (II), 1,5-di(2-furanil)-3-(1-pentenon) (IV) dan 1,5-di(2-furanil)-3-pentanon (V) dengan konversi mencapai 95,69%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Dirjen DIKTI melalui DIPA Universitas Brawijaya No: 023.04.414989/2014. Laboratorim Energi ITS atas bantuan pengukuran dan analisis fisisorpsi serta diskusi dengan Prof. Didik Prasetyoko.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alonso, D. M., Bond, J. Q., and Dumas, J. A., (2010). Catalytic conversion of biomass to biofuels, *Green Chemistry*, **12**, 1493-1513.
- [2] Xu, W., Liu, X., Ren, J., Zhang, P., Wang, Y., Guo, Y., and Lu, G., (2010). A novel mesoporous Pd/cobalt aluminate bifunctional catalysts for aldol condensation and following hydrogenation, *Catalysts Communications*, **11**, 721-726.
- [3] Corma, A., Iborra, S., and Velty, A. (2007), Chemical routes for the transformation of biomass into chemicals, *Chemical Review*, **107**, 2411-2502.
- [4] Xinghua, Z., Wang T., Ma L., and Wu C. (2010), Aqueous-phase catalytic process for production of pentane from furfural over nickel-based catalysts, *Fuel*, **89**, 2697-2702.
- [5] Vashishtha, M., Mishra, M., Shah, D.O. (2013), A novel approach for selective cross aldol condensation using reusable NaOH-cationic micellar systems, *Applied Catalysis A : General*, **466**, 38-44.
- [6] Faba, L., Diaz, E., and Ordonez, S. (2012), Aqueous-phase furfural-acetone aldol condensation over basic mixed oxides, *Applied Catalysis B: Environmental*, **113-114**, 201-211.
- [7] Tsuji, H., Fuyuki Y., Hideshi H., and Hideaki K. (1994), Self-condensation of n-butylaldehyde over solid base catalysts, *Journal of Catalysis*, **148**, 750-770.
- [8] Ulfa, S. M., Anjani, R. M., Amaniyah, Okamoto, H. (2015), Selective formation of monomer and dimer product from aldol condensation of furfural and acetone by reflux and autoclave batch reactor using MgO catalyst in water, *Proceeding 5th Basic Science*, Malang, Indonesia.
- [9] Sitthisa, S., dan Resasco, D.E., (2011). Hydrodeoxygenation of furfural over supported metal catalysts: a comparative study of Cu, Pd, And Ni, *Catalysts Letter*, **141**, 784-791.
- [10] Gandía, L.M., and Montes, M., (1993). Highly selective one-step formation of methyl isobutyl ketone from acetone with a magnesia supported nickel catalyst, *Applied Catalysis A: General*, **101**, 1-6.
- [11] Ulfa, S. M. and Ifitah, E. D. (2014), Selective hydrogenation of furfural using Ni/ γ -Al₂O₃ catalyst, *Proceeding 4th Basic Science*, Malang, Indonesia.
- [12] Dedsuksophon, W., Champreda, V., and Laosiripojana N. (2010), Study of liquid alkana production from biomassa derived carbohydrates by aldol condensation and hydrogenation processes, *Engineering Journal*, **14**, 1-10.
- [13] Areat C. O., Carbonell, C. M., Palomino, G. T, Soto, J. B. P. (1994), Preparation and characterization of high surface area Al₂O₃-MgAl₂O₄ solid solution, *Journal of Catalysis*, **148**, 403-405.
- [14] Lamber R. and Schulzekloff, G. (1994) on the microstructure of coprecipitated Ni-Al₂O₃ catalysts, *Journal of Catalysis*, **146**, 601-607.
- [15] Hyeun-Dae M., Tae-Hoon, L., Ho-In, L. (1999), Chemical poisoning of Ni/MgO catalyst by alkali carbonate vapor in the steam reforming reaction of DIR-MCFC, *Bulletin Korean Chemical Society*, **20**, 143-147.
- [16] Yamazaki, O., Tomishige, K., Fujimoto, K. (1996), Development of highly stable nickel catalyst for methane-steam reaction under low steam to carbon ratio, *Applied Catalysis A: General*, **136**, 49-56.
- [17] Condon, J. B. (2006), Surface area and porosity determination by physisorption: *Measurements and theory*, Elsevier, Netherlands.
- [18] Rownaghi, A. A., Rezaei, F., Hedlund, J. (2012), Uniform mesoporous ZSM-5 single crystals catalyst with high resistance to coke formation for methanol deoxygenation, *Microporous Mesoporous Material*, **151**, 26-33.
- [19] Park, Y., Kang, T., Lee, J., Kim, P., Kim, H., Yi, J. (2004), Single-step preparation of Ni catalysts supported on mesoporous

- silicas (SBA-15 and SBA-16) and the effect of pore structure on the selective hydrodechlorination of 1,1,2-trichloroethane to VCM, *Catalysis Today*, **97**, 195-203.
- [20] Mohan, V., Pramod C. V., Suresh, M., Hari Prasad, R. K., David, R. B., Rama, R. K. S. (2012), Advantage of Ni/SBA-15 catalyst over Ni/MgO catalyst in terms of catalyst stability due to release of water during nitrobenzene hydrogenation to aniline, *Catalyst Communication*, **18**, 89-92.
- [21] Cheng, H., Xiangchun, M., Yancun, Y., and Fengyu, Z. (2013), The Effect of water on the hydrogenation of o-chloronitrobenzene in ethanol, n-heptane and compressed carbon dioxide, *Applied Catalysis A: General*, **455**, 8-15.
- [22] Xiang, Y., Li, X., Lu, C., Ma, L., and Zhang, Q. (2010), Water-improved heterogeneous transfer hydrogenation using methanol as hydrogen donor over Pd-based catalyst, *Applied Catalysis A: General*, **375**, 289-294.
- [23] Olcay, H., Xu, Y., and Huber, G. W. (2014), Effect of hydrogen and water on the activity and selectivity of acetic acid hydrogenateion on ruthenium, *Green Chemistry*, **16**, 911-924.
- [24] Sharma, A. (2014), Production of xylitol by catalytic hydrogenation of xylose, *The Pharma Innovation-Journal*, **2**, 1-6.
- [25] Yingxin, L., Jixiang, C., and Jiyan, Z. (2007), Effects of the supports on activity of supported nickel catalyst for hydrogenation of m-dinitrobenzene to m-phenylenediamine, *China Journal Chemistry Engineering*, **15**, 63-67.