

SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOALLOY Ni-Sn(1,5): EFEK RASIO VOLUME ETILENA GLIKOL/AIR

Synthesis and Characterization of Ni-Sn(1.5) Nanoalloy Catalyst: Effect of Ethylene Glycol/Water Volume Ratio

Leo Saputra, Uripto Trisno Santoso, Rodiansono

Program Studi S-1 Kimia FMIPA Universitas Lambung Mangkurat

Jl. A. Yani Km. 35,8 Banjarbaru 70714 Kalimantan Selatan

Email : rodiansono@unlam.ac.id

ABSTRAK

Nanoalloy Ni-Sn(1,5) telah berhasil disintesis menggunakan metode yang mudah dan sederhana yaitu metode termediasi poliol dalam kondisi hidrotermal dengan rasio volume etilena glikol/air (EG/H₂O) yang berbeda. Difraktogram XRD memperlihatkan puncak pada posisi 2θ : 26,26°, 33,66°, 39,70°, 42,30°, 44,50°, 51,38°, dan 71,20° yang masing-masing merupakan puncak karakteristik dari β -SnO, NiO(111), Ni₃Sn(200), Ni₃Sn₂(102), Ni₃Sn₂(110), Ni(200), dan Ni₃Sn(220). Kristalinitas Ni₃Sn₂(102) dari *nanoalloy* Ni-Sn(1,5) cenderung menurun dengan meningkatnya rasio volume EG/H₂O yang digunakan. Ukuran kristal *nanoalloy* Ni₃Sn₂(102) yang diperoleh untuk rasio volume EG/H₂O 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; dan 8,0 berturut-turut adalah 18,1; 14,7; 8,8; 6,0; dan 13,3 nm. Spektra UV-Vis menunjukkan bahwa kompleks Ni²⁺ tidak terdeteksi lagi di dalam supernatannya. Gambar SEM memperlihatkan bahwa partikel *nanoalloy* Ni-Sn(1,5) hasil sintesis umumnya berbentuk silinder dan sebagian partikelnya berbentuk granula tak beraturan. Berdasarkan data EDS, rasio mol Ni/Sn dalam *nanoalloy* Ni-Sn(1,5) yang diperoleh dari penelitian ini adalah 1,71.

Kata kunci: nanoalloy Ni-Sn, etilena glikol, termediasi poliol, hidrotermal

ABSTRACT

Ni-Sn(1.5) nanoalloys were successfully synthesised via simple polyol mediated method under hydrothermal condition with different ethylene glycol/water (EG/H₂O) volume ratio. Powder XRD patterns showed identical peaks at 2θ : 26.26°, 33.66°, 39.70°, 42.30°, 44.50°, 51.38°, and 71.20° that correspond to β -SnO, NiO(111), Ni₃Sn(200), Ni₃Sn₂(102), Ni₃Sn₂(110), Ni(200), and Ni₃Sn(220), respectively. The crystallinity of Ni₃Sn₂(102) in Ni-Sn(1.5) nanoalloy slightly decreased as increasing of EG/H₂O volume ratio. The crystallite sizes of Ni₃Sn₂(102) nanoalloy with EG/H₂O volume ratio of 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, and 8.0 were 18.1, 14.7, 8.8, 6.0, and 13.3 nm, respectively. UV-Vis spectra indicated that Ni²⁺ species were not detected in the supernatant. SEM images showed that the shapes of Ni-Sn(1.5) nanoalloy particles were mainly cylinder and irregular granules. Based on the EDS data, Ni/Sn mol ratio of the synthesized Ni-Sn(1.5) nanoalloy was 1.71.

Keywords: Ni-Sn nanoalloy, ethylene glycol, polyol mediated, hydrothermal

PENDAHULUAN

Hidrogenasi kemoselektif senyawa karbonil tak jenuh menjadi alkohol tak jenuh umumnya diperlukan dalam industri parfum, obat-obatan, dan sintesis senyawa antara. Hal ini menjadi bidang penelitian yang penting dan menarik karena hidrogenasi ikatan C=C secara termodinamika lebih disukai daripada C=O (Narayanan, 2003). Katalis untuk hidrogenasi ikatan C=O yang umumnya digunakan adalah logam platina (Pt), iridium (Ir), dan osmium (Os) (Farnetti *et al.*, 1990; Kaspar *et al.*, 1992; Bruyn *et al.*, 2003). Akan tetapi, penggunaan logam mulia seperti Pt mengakibatkan proses ini memerlukan biaya yang sangat tinggi.

Nikel (Ni) yang merupakan logam satu golongan dengan Pt, dapat menjadi alternatif yang bagus karena kemiripan sifat katalitiknya dengan Pt serta harganya jauh lebih murah. Untuk meningkatkan selektivitas terhadap C=O, diperlukan modifikasi logam tersebut melalui pembentukan *alloy* dengan logam lain yang lebih elektropositif (Sachtler & Santen, 1977; Ferrando *et al.*, 2008) seperti timah (Sn) (Arana *et al.*, 1998; Santori *et al.*, 2002; Jerdev *et al.*, 2002) atau menggunakan pengemban oksida yang berinteraksi kuat dengan Ni (Dandekar & Vannice, 1999; Consonni *et al.*, 1999; Zanella *et al.*, 2004). Rodiansono *et al.* (2012) melaporkan bahwa *alloy* nikel-timah (Ni-Sn) memiliki

selektivitas yang tinggi untuk hidrogenasi senyawa karbonil tak jenuh untuk menghasilkan alkohol tak jenuh.

Beberapa metode sintesis *alloy* Ni-Sn yang telah dikenal antara lain *co-impregnation* (Masai *et al.*, 1977), reaksi kompleks organologam pada permukaan logam (SOMC/M) (Lesage *et al.*, 1995), *arc-melting* serbuk Ni-Sn pada temperatur di atas titik leleh Ni dan Sn (Komatsu *et al.*, 2000), dan deposisi uap kimia (CVD) (Komatsu *et al.*, 2001). Akan tetapi, metode-metode di atas memiliki beberapa kelemahan seperti temperatur reaksi yang sangat tinggi, kondisi reaksi yang *inert* (argon atau nitrogen), dan sulitnya mengontrol morfologi permukaan serta ukuran partikel *alloy* Ni-Sn yang dihasilkan. Rodiansono *et al.* (2012) melaporkan bahwa *alloy* Ni-Sn dapat disintesis dengan metode yang sangat sederhana yaitu metode termediasi poliol dalam kondisi hidrotermal. Morfologi dan ukuran kristal *alloy* Ni-Sn yang dihasilkan dipengaruhi oleh temperatur, waktu proses hidrotermal, perlakuan hidrogenasi dan pH. Pada penelitian ini telah dilakukan sintesis *alloy* Ni-Sn dalam skala nanometer (*nanoalloy*) dengan rasio mol Ni/Sn=1,5 menggunakan metode yang telah dilakukan oleh Rodiansono *et al.* (2012). Pada sintesis *nanoalloy* Ni-Sn(1,5) ini, rasio volume

etilena glikol/air (EG/H₂O) telah divariasikan untuk melihat pengaruhnya terhadap kristalinitas dan ukuran kristal *nanoalloy* Ni-Sn(1,5) yang dihasilkan.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat utama yang digunakan di penelitian ini adalah reaktor autoklaf dari Teflon (45 mL) dan oven. Untuk karakterisasi digunakan difraksi sinar-X (XRD) Shimadzu XRD-6000, *Scanning electron microscopy-energy dispersive spectroscopy* (SEM-EDS) JEOL-JSM-6510LV yang dilengkapi *Autofine Coater* JEOL-JFC-1600, dan *Spectrophotometer Ultraviolet-visible* (UV-Vis) LGS53.

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah NiCl₂·6H₂O (Merck Millipore, p.a), SnCl₂·2H₂O (Ajax Chemical, p.a), NaOH (Merck Millipore, p.a), etilena glikol (EG) (Merck Millipore, p.a), etanol (Merck Millipore, p.a), dan akuades.

Sintesis *Nanoalloy* Ni-Sn(1,5)

Sintesis *nanoalloy* Ni-Sn(1,5) (rasio mol Ni/Sn=1,5) mengikuti prosedur yang telah dilaporkan oleh Rodiansono *et al.* (2012). Sebanyak 3,6 mmol NiCl₂·6H₂O (dalam 5 mL H₂O) dan 2,4 mmol SnCl₂·2H₂O (dalam 5 mL etanol) dicampurkan sambil diaduk pada temperatur kamar. Sebanyak 5; 10; 15; 20; dan 40 mL etilena glikol ditambahkan untuk memperoleh rasio

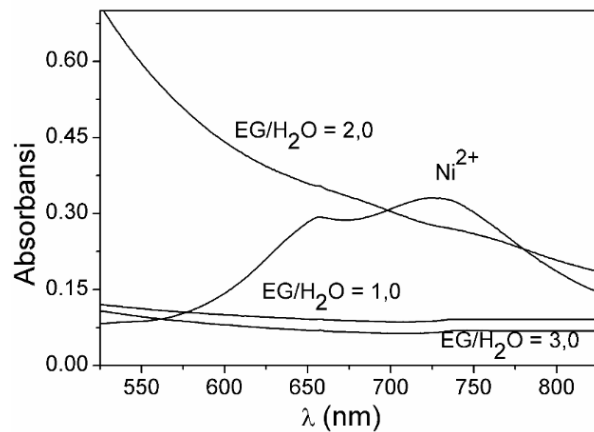
volume EG/H₂O berturut-turut yaitu 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; dan 8,0. Setelah proses homogenisasi pada temperatur 50 °C selama 18 jam, larutan NaOH 6,0 M ditambahkan untuk mendapatkan pH=12, dan selanjutnya proses hidrotermal pada temperatur 150°C selama 24 jam. Setelah hidrotermal, endapan hitam dipisahkan dari sisa cairannya, disaring, dicuci, dan dikeringkan semalaman dalam kondisi vakum dan dikarakterisasi dengan XRD dan SEM-EDS. Bagian supernatan dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mendeteksi keberadaan spesies Ni²⁺ tersisa pada λ_{\max} 722 nm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Efek rasio volume etilena glikol/air (EG/H₂O) terhadap karakteristik Ni-Sn(1,5) alloy yang dihasilkan seperti kristalinitas, ukuran kristal, dan profil morfologi telah dilakukan. Variasi volume etilena glikol yang ditambahkan adalah 5, 10, 15, 20, dan 40 mL yang sebanding dengan rasio volume EG/H₂O berturut-turut 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; dan 8,0.

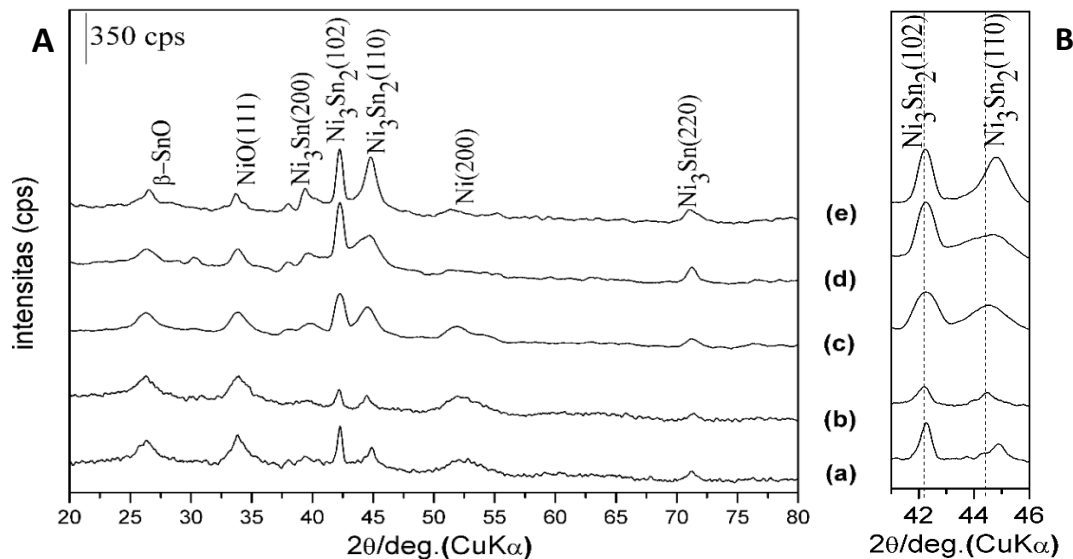
Untuk mendeteksi keberadaan sisa Ni²⁺ dalam supernatan setelah proses hidrotermal dilakukan dengan analisis spektroskopi UV-Vis dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 1. Berdasarkan pada spektra UV-Vis tersebut dapat disimpulkan bahwa kompleks Ni²⁺

$[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ atau $[\text{Ni}(\text{EG})_3]^{2+}$ tidak terdeteksi lagi dalam supernatan pada panjang gelombang 722 nm yang merupakan absorbansi maksimum karakteristik dari kompleks $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ dan $[\text{Ni}(\text{EG})_3]^{2+}$.



Gambar 1. Spektra UV-Vis larutan kompleks Ni^{2+} dan supernatan setelah proses hidrotermal dengan rasio volume EG/ H_2O yang berbeda

Difraktogram XRD *nanoalloy* Ni-Sn(1,5) yang disintesis ditunjukkan dalam Gambar 2. Masing-masing difraktogram tersebut dibandingkan dengan kartu standar JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*). Untuk spesies $\beta\text{-SnO}$ (kartu JCPDS No. 7-195), NiO (kartu JCPDS No. 4-835), Ni^0 (kartu JCPDS No. 4-0850), Ni_3Sn (kartu JCPDS No. 35-1362), dan Ni_3Sn_2 (kartu JCPDS No. 6-414). Berdasarkan perbandingan tersebut, selain *alloy* Ni_3Sn_2 , terbentuk juga fase lain seperti *alloy* Ni_3Sn , logam Ni, NiO dan $\beta\text{-SnO}$ yang masih belum tereduksi.



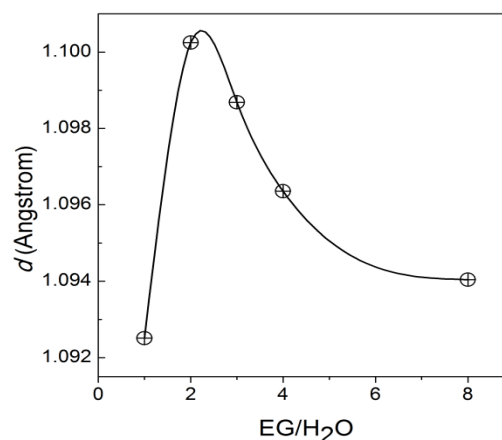
Gambar 2. Difraktogram *nanoalloy* Ni-Sn(1,5) untuk EG/ H_2O = 1,0 (a); 2,0 (b); 3,0 (c); 4,0 (d); dan 8,0 (e) pada sudut $2\theta = 20\text{-}80^\circ$ (A) dan sudut 2θ terpilih: $41\text{-}46^\circ$ (B).

Terbentuknya *alloy* Ni_3Sn_2 dapat dibuktikan dengan munculnya dua puncak karakteristik pada sudut 2θ sekitar 43° untuk Ni_3Sn_2 (102) dan 44° untuk Ni_3Sn_2 (110). *Alloy* Ni_3Sn_2 terbentuk pada semua rasio volume EG/ H_2O , namun difraktogram yang dihasilkan cenderung lebih halus seiring meningkatnya rasio volume EG/ H_2O serta ketajaman puncaknya semakin berkurang (Gambar 2A) atau dengan kata lain kristalinitasnya semakin menurun. Intensitas puncak Ni(200) cenderung menurun dengan meningkatnya rasio volume EG/ H_2O yang menunjukkan bahwa logam Ni yang telah tereduksi semakin banyak yang membentuk *alloy* dengan Sn. Dengan demikian, secara umum Ni^{2+} dan Sn^{2+} dapat direduksi oleh etilena glikol menjadi *alloy* Ni-Sn, meskipun belum tereduksi sempurna mengingat nilai potensial reduksi Ni^{2+} menjadi Ni^0 dan Sn^{2+} menjadi Sn^0 tidak terlalu besar (Joseyphus *et al.*, 2007).

Posisi puncak Ni_3Sn_2 (110) bergeser ke sudut 2θ yang lebih besar untuk rasio volume EG/ H_2O dari 2,0 hingga 8,0. Leineweber *et al.* (2007) melaporkan bahwa pergeseran puncak Ni_3Sn_2 (110) tersebut disebabkan oleh meningkatnya nilai c dan menurunnya nilai a yang keduanya merupakan parameter kisi struktur heksagonal dari Ni_3Sn_2 (110). Puncak pada posisi $44,88^\circ$ untuk rasio volume EG/ H_2O = 1,0 pada Gambar 2B merupakan puncak

karakteristik dari Ni(111) yang tidak membentuk *alloy* dengan Sn sehingga tidak terjadi pergeseran sebagaimana puncak Ni_3Sn_2 (110) dari sampel dengan rasio volume EG/ H_2O lainnya.

Nilai d -spacing untuk puncak Ni_3Sn_2 (110) pada Gambar 3 dihitung menggunakan persamaan Hukum Bragg: $n\lambda = 2d \sin\theta$, dimana $n = 1$, $\lambda = 1,5418$ (Å), $\theta =$ sudut θ ($^\circ$). Berdasarkan perhitungan, nilai d -spacing untuk rasio volume EG/ H_2O 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; dan 8,0 berturut-turut adalah 1,092; 1,100; 1,098; 1,096; dan 1,094 Å. Berdasarkan nilai tersebut, terjadi penurunan nilai d -spacing kisi kristal *nanalloy* Ni_3Sn_2 (110) (Gambar 3) untuk rasio volume EG/ H_2O dari 2,0 hingga 8,0. Nilai d -spacing yang paling kecil untuk rasio volume EG/ H_2O 1,0 yaitu 1,020 Å merupakan d -spacing dari Ni(111) lainnya.



Gambar 3. Kurva hubungan d -spacing Ni_3Sn_2 (110) sebagai fungsi rasio volume EG/ H_2O

Ukuran kristal *nanoalloy* Ni₃Sn₂ yang dihasilkan cenderung menurun untuk rasio volume EG/H₂O dari 1,0 hingga 4,0 (Tabel 1). Pada penggunaan rasio volume EG/H₂O = 8,0 ternyata ukuran kristal *nanoalloy* Ni₃Sn(102) yang dihasilkan lebih besar dibanding rasio volume EG/H₂O = 3,0 dan 4,0. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh polimerisasi etilena glikol yang lebih cepat karena jumlahnya berlebih selama proses hidrotermal. Polimerisasi tersebut mengurangi kemampuan etilena glikol untuk membentuk kompleks dengan ion logam, sehingga kristal *nanoalloy* Ni₃Sn₂ yang terbentuk dapat tumbuh lebih besar.

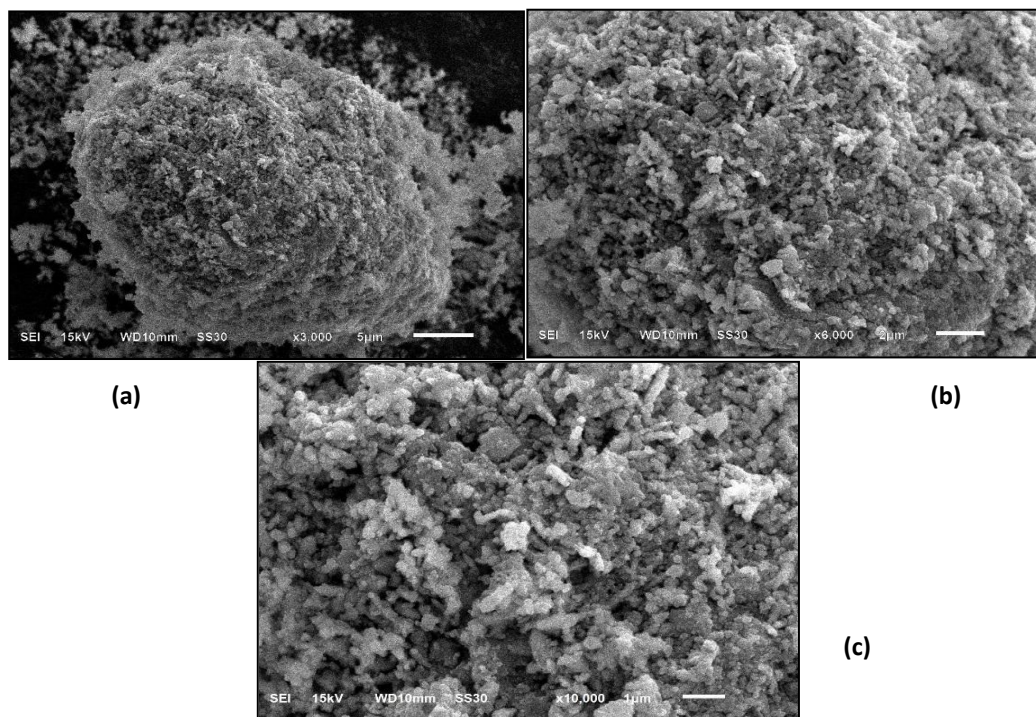
Tabel 1. Ukuran kristal *nanoalloy* Ni-Sn(1,5)

EG/H ₂ O ^a	Ukuran kristal/nm ^b	
	Ni ₃ Sn ₂ (102)	Ni ₃ Sn ₂ (110)
1	18,1	—
2	14,7	12,1
3	8,8	6,3
4	6,0	5,8
8	13,3	8,1

^aDihitung menggunakan persamaan Scherrer.

^bRasio volume (mL/mL).

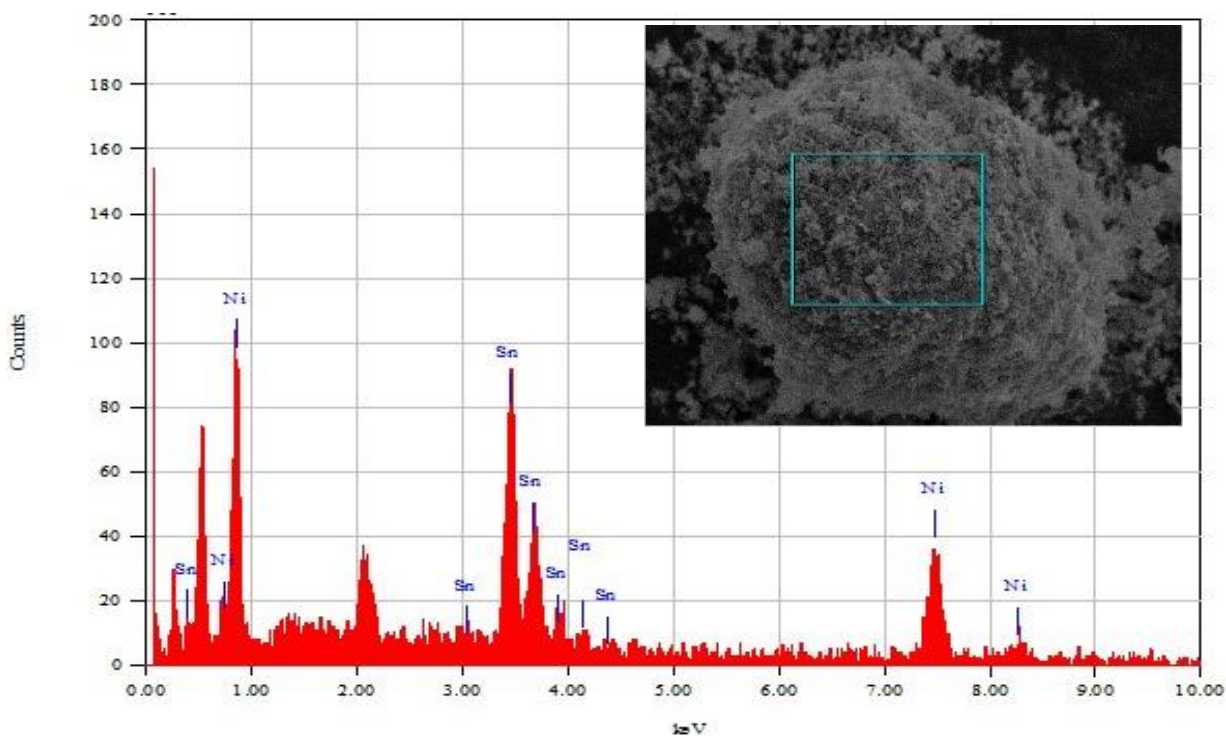
Foto SEM (Gambar 4) memperlihatkan morfologi dari partikel *nanoalloy* Ni-Sn(1,5) yang dihasilkan dari sampel dengan rasio volume EG/H₂O = 3,0 sebagai representatif dari sampel rasio sebut berbentuk granula sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4(a) dengan pembesaran 3000 kali. Ketika pembesaran ditingkatkan menjadi 6000 kali pada Gambar 4(b), terlihat sebagian partikel yang berbentuk silinder. Bentuk silinder semakin jelas terlihat ketika pembesaran ditingkatkan lagi menjadi 10000 kali sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4(c). Bentuk silinder tersebut bersesuaian dengan struktur kristal *alloy* Ni₃Sn₂ yang berbentuk heksagonal sebagaimana dilaporkan oleh Leineweber *et al.* (2007). Namun secara keseluruhan, bentuk partikelnya tidak beraturan secara sempurna mengingat partikel *nanoalloy* Ni-Sn(1,5) tersebut tidak hanya terdiri dari *nanoalloy* Ni₃Sn₂ sebagaimana dijelaskan sebelumnya.



Gambar 4. Gambar SEM *nanoalloy* Ni-Sn(1,5) rasio volume EG/H₂O = 3,0 dengan perbesaran 3.000 (a), 6.000 (b), dan 10.000 kali (c).

Kurva EDS digunakan untuk memperoleh rasio mol Ni/Sn pada daerah tertentu dari gambar SEM *nanoalloy* Ni-Sn(1,5). Kurva EDS tersebut berupa hubungan antara energi ikatan elektron (keV) elektron kulit K pada atom Ni spesifik pada 7,47 keV dan energi ikatan elektron kulit L pada atom Sn spesifik pada 3,44 keV. Intensitas masing-masing puncak dalam kurva EDS tersebut dibandingkan dengan standar sehingga dapat diketahui %mol Ni dan Sn pada daerah tersebut. Jika semua Ni dan Sn yang digunakan sebagai prekursor (jumlah Ni = 3,6 mmol dan Sn = 2,4 mmol) membentuk *nanoalloy* Ni₃Sn₂, maka persen mol Ni dan Sn dalam *nanoalloy* Ni-Sn(1,5) masing-masing

adalah 60% dan 40%. Berdasarkan data EDS, %mol Ni dan Sn pada daerah yang ditentukan (dalam *inset* Gambar 5) masing-masing adalah 63,16% dan 36,84%. Dengan demikian, rasio mol Ni/Sn dalam *nanoalloy* Ni-Sn(1,5) yang dihasilkan untuk rasio volume EG/H₂O = 3 adalah $63,16/36,84 = 1,71$. Rasio mol Ni/Sn tersebut lebih besar dibanding rasio mol Ni/Sn yang seharusnya diperoleh jika reaksi berjalan sempurna. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh proses pelarutan SnCl₂·2H₂O yang kurang sempurna akibat hidrolisis dan terbentuknya *nanoalloy* Ni₃Sn yang memiliki rasio mol Ni/Sn yang lebih besar daripada Ni₃Sn₂.



Gambar 5. Kurva EDS *nanoalloy* Ni-Sn(1,5) rasio EG/H₂O = 3,0 pada perbesaran 3.000 (*insert* Gambar).

KESIMPULAN

Nanoalloy Ni-Sn(1,5) yang telah dihasilkan secara umum berbentuk granula tak beraturan dengan sebagian partikelnya berbentuk silinder. Fase-fase yang terdeteksi antara lain Ni₃Sn₂, Ni₃Sn, β-SnO, NiO, dan logam Ni. Kristalinitas Ni₃Sn₂(102) pada *nanoalloy* Ni-Sn(1,5) yang diperoleh cenderung menurun dengan meningkatnya rasio volume EG/H₂O yang digunakan. Ukuran kristal Ni₃Sn₂(102) untuk rasio volume EG/H₂O 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; dan 8,0 berturut-turut adalah 18,1; 14,7; 8,8; 6,0; dan 13,3 nm. Berdasarkan data EDS, rasio

mol Ni/Sn dalam *nanoalloy* Ni-Sn(1,5) yang diperoleh dari penelitian ini adalah 1,71.

DAFTAR PUSTAKA

- Arana, J., P. Ramirez, L. Llorca, J. Sales, & N. Homs. 1998. Bimetallic Silica-Supported Catalysts Based on Ni-Sn, Pd-Sn, and Pt-Sn as Materials in the CO Oxidation Reaction. *Chem. Mater.* 10: 1333–1342.
- Bruyn, M.D., S. Coman, R. Bota, V.I. Parvulescu, D.E. Vos, & P.A. Jacobs. 2003. Chemoselective Reduction of Complex α,β-unsaturated Ketones to Allylic Alcohols over Ir Metal Particles on Beta Zeolites. *Angew. Chem. Int. Ed.* 115: 5491-5494.

- Consonni, M., D. Jokic, D.Y. Murzin, & R. Touroude. 1999. High Performances of Pt/ZnO Catalysts in Selective Hydrogenation of Crotonaldehyde. *J. Catal.* 188: 165–175.
- Dandekar, A. & M.A. Vannice. 1999. Crotonaldehyde Hydrogenation on Pt/TiO₂ and Ni/TiO₂ Catalysts. *J. Catal.* 183: 344–354.
- Farnetti, E., J. Kaspar, & M. Graziani. 1990. Electron-rich Iridium Complexes: Metal-basicity-controlled Chemoselectivity in Hydrogen Transfer Reductions. *J. Mol. Catal.* 63: 5-13.
- Ferrando, R., J. Jellinek, & R.L. Johnston. 2008. Nanoalloy: From Theory to Applications of Alloy Cluster and Nanoparticle. *Chem. Rev.* 108: 846–910.
- Jerdev, D.I., A. Olivas, & B.E. Koel. 2002. Hydrogenation of Crotonaldehyde over Sn/Pt(111) Alloy Model Catalysts. *J. Catal.* 205: 278–288.
- Joseyphus, R.J., T. Matsumoto, H. Takahashi, D. Kodama, K. Tohji, & B. Jeyadevan. 2007. Designed Synthesis of Cobalt and Its Alloys by Polyol Process. *J. Solid State Chem.* 180: 3008–3018.
- Kaspar, J., M. Graziani, G.P. Escobar, & A. Trovarelli. 1992. Chemoselective Hydrogenation of Unsaturated Carbonyl Compounds over Groups 8 and 9 Titania-supported Metal Catalysts. *J. Mol. Catal.* 72: 243–251.
- Komatsu, T., A. Onda, & T. Yashima. 2000. Characterization and Catalytic Properties of Ni-Sn Intermetallic Compounds in Acetylene Hydrogenation. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2: 2999-3005.
- Komatsu, T., A. Onda, & T. Yashima. 2001. Preparation and Catalytic Properties of Single-Phase Ni–Sn Intermetallic Compound Particles by CVD of Sn(CH₃)₄ onto Ni/Silica. *J. Catal.* 201: 13–21.
- Leineweber, A., E.J. Mittemeijer, M. Knapp, & C. Baehtz. 2007. Kinetics of Ordering in Ni_{1.5}Sn ('Ni₃Sn₂') as Revealed by The Variation of The Lattice Parameters upon Annealing. *Phil. Mag.* 87: 1821-1844.
- Lesage, P., O. Clause, P. Moral, B. Didillon, J.P. Candy, & J.M. Basset. 1995. Surface Organometallic Chemistry on Metals: Preparation of Bimetallic Catalysts by Controlled Hydrogenolysis of Sn(*n*-C₄H₉)₄ on a Ni/SiO₂ Catalyst. *J. Catal.* 155: 238-248.
- Masai, M., K. Mori, H. Muramoto, T. Fujiwara, & S. Ohnaka. 1977. Dehydrogenation and Hydrogenation Activity of Palladium-Tin-Silica and Nickel-Tin-Silica. *J. Catal.* 50: 419–428.
- Narayanan, S. 2003. Selective Hydrogenation of Unsaturated Aldehydes and Ketones. *Bull. Catal. Soc. India.* 2: 107-121.
- Rodiansono, S. Khairi, T. Hara, N. Ichikuni, & S. Shimazu. 2012. Highly Efficient and Selective Hydrogenation of Unsaturated Carbonyl Compounds using Ni–Sn Alloy Catalysts. *Catal. Sci. & Technol.* 2: 2139-2145.
- Sachtler, W.M.H. & R.A. Van Santen. 1977. Surface Composition and Selectivity of Alloy Catalysts. *Adv. Catal.* 26: 69–119.

- Santori, G.F., M.L. Casella, & O.A. Ferretti. 2002. Hydrogenation of Carbonyl Compounds using Tin-modified Platinum-based Catalysts Prepared via Surface Organometallic Chemistry on Metals (SOMC/M). *J. Mol. Catal. A.* 186: 223–239.
- Zanella, R., C. Louis, S. Giorgio, & R. Touroude. 2004. Crotonaldehyde Hydrogenation by Gold supported on TiO₂: Structure Sensitivity and Mechanism. *J. Catal.* 223: 328–339