

Sintesis Nanopartikel Codoped Ceria Melalui Metode Sol-Gel Menggunakan Ekstrak Jeruk Lemon (*Citrus limon*) Sebagai Agen Pengkelat

Imas Masriah¹, Arie Hardian^{1,*}, Dani Gustaman Syarif²

¹Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Informatika, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

²Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan (PSTNT), BATAN, Bandung Indonesia

*Penulis korespondensi: arie.hardian@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.24198/cna.v6.n2.16477>

Abstrak: Ceria dengan dopan ganda (*codoped*) merupakan salah satu alternatif elektrolit padat untuk sel bahan bakar padatan oksida suhu menengah (*Intermediate Temperature – Solid Oxide Fuel Cell*, IT-SOFC). Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan sintesis dan karakterisasi nanopartikel ceria terdoping Gadolinia 10% dan Neodimia 10% dengan metode sol-gel menggunakan asam sitrat atau ekstrak jeruk lemon sebagai agen pengkelat. $Ce_{0,8}Gd_{0,1}Nd_{0,1}O_{1,9}$ (GNDC1010) telah berhasil disintesis dengan metode sol-gel menggunakan asam sitrat dan ekstrak jeruk lemon dengan variasi pH 5; 7; dan 9. Berdasarkan hasil XRD, pola XRD dari GNDC1010 memiliki kemiripan dengan pola XRD dari struktur fluorit ceria murni (JCPDS ICDD: #00-034-394). Pergeseran 2θ ke arah yang lebih kecil dari pola difraksi GNDC1010 dibandingkan dengan ceria murni mengindikasikan terjadinya ekspansi kisi. Berdasarkan hasil penghalusan (*refinement*) GNDC1010 hasil sintesis memiliki struktur kubik dengan grup ruang $Fm\bar{3}m$ dan parameter kisi pada rentang 5,435(1) hingga 5,4438(7) Å. Ukuran kristalit (persamaan Scherrer) GNDC1010 ekstrak berada pada rentang 4,27nm hingga 13,85nm.

Kata kunci: ceria, ekstrak jeruk lemon, IT-SOFC, sol-gel

Abstract: *Codoped ceria is one of alternative solid electrolyte for Intermediate Temperature Solid Oxide Fuel Cell (IT-SOFC). The aim of this work was to synthesized Gd and Nd codoped ceria via sol-gel method using citric acid and Citrus limon extracts as the chelating agent. The $Ce_{0,8}Gd_{0,1}Nd_{0,1}O_{1,9}$ (GNDC1010) nanoparticles has been succesfully synthesized via sol-gel method with citric acid and lemon extract by variant pH 5, 7, and 9. Based on XRD result, the XRD patterns of obtained GNDC1010 were similar to the XRD pattern of fluorite structure of pure ceria (JCPDS ICDD: #00-034-394). However, the shiftment to smaller 2θ of the diffraction pattern of GNDC1010 compare to pure ceria indicated the lattice expansion in ceria structure This result showed that Gadolinium ion and neodymium ion which has larger ionic radius compare to Ce^{4+} was succesfully solved in the ceria structure. Based on XRD refinement, the obtained GNDC1010 nanoparticles were crystallized in a cubic structure with space group $Fm\bar{3}m$ and the lattice parameter were in the range 5,435(1) to 5,4438(7) Å. Crystallite sizes (Scherrer's equation) of obtained GNDC1010 were in the range 4.27 to 13.85 nm.*

Keywords: *codoped ceria, Citrus lemon extracts, IT-SOFC, sol-gel method*

PENDAHULUAN

Sel bahan bakar padatan oksida (*Solid Oxide Fuel Cell*, SOFC) adalah salah satu teknologi energi alternatif yang berpotensi dikembangkan lebih lanjut untuk menggantikan penggunaan bahan bakar fosil. Sel bahan bakar padatan oksida merupakan suatu teknologi alternatif penghasil energi listrik yang bersifat ramah lingkungan, beroperasi pada suhu tinggi sekitar 500-1000°C (Jacobson 2010). Pengembangan sel bahan bakar padatan oksida mengarah pada penurunan suhu operasional menjadi 500-800°C (suhu menengah) dikenal sebagai sel bahan bakar padatan oksida suhu menengah

(*Intermediate Temperature-Solid Oxide Fuel Cell*, IT-SOFC).

Ceria terdoping merupakan salah satu kandidat elektrolit padat yang unggul untuk pengembangan elektrolit padat IT-SOFC karena konduktivitasnya yang tinggi pada suhu menengah dibandingkan dengan elektrolit padat komersial, Zirkonia terstabilkan Ittria (*Yttria Stabilized Zirconia*) (Guan *et al.* 2008). Strategi dopan ganda telah digunakan beberapa tahun terakhir dan terbukti efektif untuk mengoptimalkan elektrolit padat lebih lanjut. Hardian & Ismunandar (2011) telah berhasil menyintesis ceria dengan dopan ganda Gd dan Er dengan metode *solid state*. Yao *et al.* (2011) telah berhasil menyintesis

ceria dengan dopan ganda Gd^{3+} dan Nd^{3+} menggunakan metode pembakaran nitrat-asam sitrat (*citric acid-nitrate combustion method*).

Penggunaan bahan alami dalam sintesis nanopartikel telah banyak dilakukan. Samat telah berhasil menyintesis nanopartikel seng oksida (ZnO) dengan menggunakan ekstrak jeruk nipis sebagai sumber zat pengkelatnya (Ain & Nor 2013). Tyas (2015) telah berhasil menyintesis nanopartikel ceria terdoping gadolinia 20% menggunakan metode sol-gel dengan jeruk nipis sebagai agen pengkelat. Novanda (2015) telah berhasil menyintesis nanopartikel ceria terdoping neodimia 20% menggunakan metode sol-gel dengan belimbing wuluh sebagai agen pengkelat. Ekstrak jeruk lemon telah digunakan oleh Sujitha & Kannan (2013) sebagai agen pereduksi dan penstabil pada biosintesis nanopartikel emas.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan jeruk lemon terhadap sintesis nanopartikel ceria terdoping Gadolinia 10% dan Neodimia 10% dengan metode sol-gel serta untuk mengetahui pengaruh parameter pH terhadap karakteristik nanopartikel ceria terdoping Gadolinia 10% dan Neodimia 10% (GNDC1010) yang dihasilkan.

BAHAN DAN METODE

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan yaitu gelas kimia, labu ukur, gelas ukur, kaca arloji, pemanas listrik, *magnetic stirrer*, pH meter (HANNA pHep-HI98107), tungku pembakaran. Instrumen yang digunakan untuk karakterisasi hasil sintesis antara lain antara lain *X-Ray Diffractometer* (XRD) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM, JCM-6000 NeoScope Benchtop SEM).

Bahan-bahan yang digunakan antara lain $Ce(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ (Aldrich, 99%), $Gd(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ (Aldrich, 99,99%), $Nd(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ (Aldrich, 99,9%), NH_4OH 1M, asam sitrat dan ekstrak jeruk lemon.

Prosedur Penelitian

Sintesis GNDC1010 diawali dengan pembuatan larutan kation. Larutan kation dibuat dengan cara mencampurkan $Ce(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$, $Gd(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$, $Nd(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ sesuai proporsi stoikiometri untuk mendapatkan $Ce_{0,8}Gd_{0,1}Nd_{0,1}O_{1,9}$. Ekstrak jeruk lemon disiapkan dengan cara: jeruk lemon dikupas, dipotong - potong, dihancurkan dengan blender tanpa air, kemudian disaring hingga memperoleh ekstrak jeruk lemon yang bebas dari bulir jeruknya. Kemudian ekstrak jeruk lemon diencerkan untuk mendapatkan nilai pH yang terkontrol. Ekstrak jeruk lemon ditambahkan dengan persen volume tertentu relatif terhadap volume larutan kation. pH campuran dicek, kemudian dilakukan variasi pH campuran yaitu 5; 7; dan 9 dengan penambahan larutan amonia

1M. Campuran diaduk sambil dipanaskan pada suhu $80^\circ C$ hingga membentuk gel. Gel yang terbentuk dipanaskan pada suhu $800^\circ C$ selama 2 jam hingga membentuk padatan GNDC1010 (Novanda 2015; Tyas 2015). Dibuat pula GNDC1010 pembanding menggunakan asam sitrat sebagai agen pengkelatnya dengan metode sol-gel.

Untuk mengamati struktur kristal, serbuk GNDC1010 dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffractometer* (XRD). Pola difraksi hasil analisis dengan XRD dilakukan penghalusan (*refinement*) dengan *software* Rietica untuk menentukan struktur kristal, grup ruang, dan parameter kisi GNDC1010 yang dihasilkan. Untuk mengamati morfologi, serbuk GNDC1010 dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM, JCM-6000 Neo Scope Benchtop SEM).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis nanopartikel ceria terdoping Gadolinia 10% dan Neodimia 10% (GNDC1010) telah dilakukan dengan metode sol-gel menggunakan ekstrak jeruk lemon. Ekstrak jeruk lemon mengandung asam sitrat yang berperan sebagai pengkelat dalam proses sintesis ini. Fungsi utama pengkelat ini adalah untuk menjaga agar tidak bersatunya nanopartikel-nanopartikel hasil nukleasi membentuk suatu struktur yang lebih besar (terjadinya aglomerasi) (Tyas 2015). Asam sitrat sebagai ion pengkelat akan mengalami disosiasi seperti pada persamaan 1-3 (Haijun *et al.* 2004).

$H_3Cit \rightleftharpoons H_2Cit^- + H^+$ dengan

$$k_1 = \frac{[H_2Cit^-][H^+]}{[H_3Cit]} = 7,4 \times 10^{-4} \quad (1)$$

$H_2Cit^- \rightleftharpoons HCit^{2-} + H^+$ dengan

$$k_2 = \frac{[HCit^{2-}][H^+]}{[H_2Cit^-]} = 1,7 \times 10^{-5} \quad (2)$$

$HCit^{2-} \rightleftharpoons Cit^{3-} + H^+$ dengan

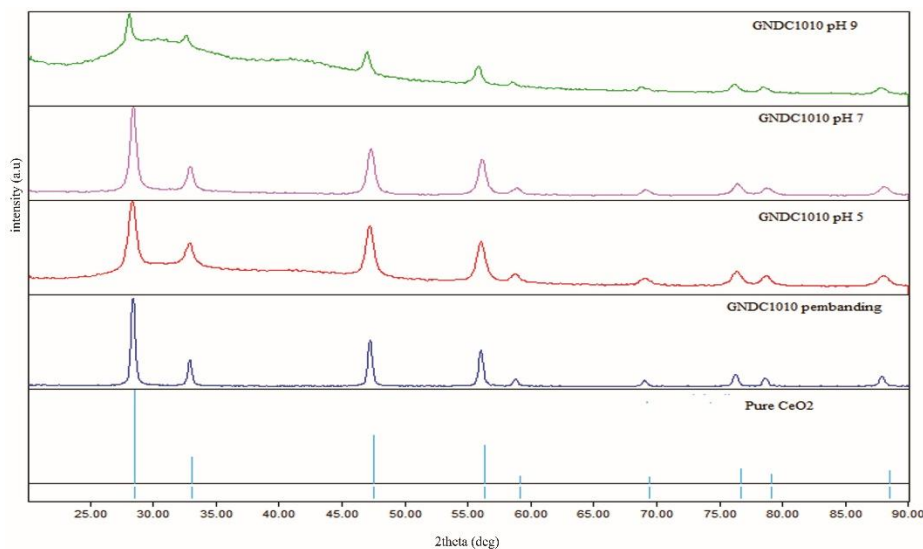
$$k_3 = \frac{[Cit^{3-}][H^+]}{[HCit^{2-}]} = 4,0 \times 10^{-7} \dots (3)$$

Pada nilai pH rendah akan tersionisasi sebagian, ion logam tidak dapat benar-benar terkelat/tercapit dengan baik dan akan ada ion logam bebas dalam larutan (Xu *et al.* 2006). pH 2,5 – 5 sebagian asam sitrat akan terionisasi dalam bentuk $(H_2Cit)^-$ akan membentuk $[RE(H_2Cit)]^{2+}$ dibentuk antara $(H_2Cit)^-$ dan ion logam tanah jarang (RE^{3+}) (Xu *et al.* 2006). Pada pH lebih dari 6, asam sitrat akan terionisasi dalam $(HCit)^{2-}$, Cit^{3-} dan akan terbentuk kompleks $RE(Hcit)^+$, $[RE(Hcit)_2]^-$ dan $[RE_2Cit_3]^{3-}$ terbentuk antara $(HCit)^{2-}$, Cit^{3-} , dan RE^{3+} . $RE(Hcit)^+$,

Tabel 1. Hasil sintesis GNDC1010 ekstrak jeruk lemon dan perbandingan

Sampel	Massa* (g)	Massa** (g)	Massa*** (g)	Organik# (%)	Rendemen (%)
GNDC1010 perbandingan	4,1158	2,9998	2,1191	34,44	70,64
GNDC1010 pH 5	0,2150	0,3452	0,1104	69,7	31,98
GNDC1010 pH 7	0,4297	0,3452	0,2019	34,01	58,49
GNDC1010 pH 9	0,1115	0,1726	0,0449	61,41	26,01

Keterangan: *Massa GNDC1010 hasil pemanasan 80°C; **Massa teoritis; ***Massa GNDC1010 setelah pemanasan 800°C; #% massaorganik yang hilang



Gambar 1. Pola difraksi GNDC1010 menggunakan asam sitrat (perbandingan) dan ekstrak jeruk lemon dengan pH 5; 7; dan 9

[RE(Hcit)₂] dan [RE₂Cit₃]³⁻ merupakan kondisi yang sangat stabil (Xu *et al.* 2006)

Tahap awal pada proses sol-gel, prekursor akan mengalami proses hidrolisis secara bertahap hingga membentuk jaringan oksida dalam bentuk gel dengan struktur yang lebih kaku (Tias 2015). Gel yang terbentuk akan dikalsinasi pada suhu 800°C selama 2 jam. Tahap kalsinasi akan terjadi dekomposisi termal pada ligan organik (asam sitrat), sisa-sisa zat organik lainnya, disertai pembentukan padatan kristalin oksida logam. Tabel 1 menunjukkan perbandingan rendemen antara jenis pengkelat asam sitrat dan variasi ekstrak jeruk lemon. Berdasarkan Tabel 1, rendemen dengan jeruk lemon lebih kecil dibandingkan dengan asam sitrat. Hal ini tentunya berkaitan dengan perbandingan mol pengkelat dalam ekstrak jeruk lemon yang tidak diketahui dan diperkirakan jumlahnya lebih sedikit dibandingkan dengan asam sitrat murni.

Karakterisasi XRD untuk hasil sintesis ceria terdoping Gadolinia 10% dan Neodimia 10% menggunakan ekstrak jeruk lemon dan asam sitrat dengan metode sol-gel menunjukkan kemiripan pola difraksi dengan struktur fluorit pada ceria murni (JCPDS ICDD: #00-034-394). Gambar 1

memperlihatkan pola difraksi dari GNDC1010. Hasil analisis dengan XRD menunjukkan pola difraksi yang terbentuk merupakan fasa tunggal fluorit ceria, artinya dopan gadolinia dan neodimia berhasil larut dalam ceria tidak terbentuk sendiri-sendiri.

Berdasarkan hasil karakterisasi XRD, GNDC1010 hasil sintesis dengan menggunakan ekstrak masih mengandung fasa amorfus lebih besar dibandingkan GNDC1010 perbandingan. Tabel 2 menunjukkan persen kristalinitas dari GNDC1010 yang dihasilkan. Dari hasil tersebut, GNDC1010 dengan menggunakan ekstrak jeruk lemon pada pH 7 menunjukkan kristalinitas yang tinggi sekitar 75,1 % dibandingkan dengan GNDC1010 ekstrak pH 5 dan pH 9. GNDC1010 pH 5 dan pH 9 memiliki kristalinitas yang tidak terlalu besar dengan jumlah persentase amorf yang cukup tinggi.

Pola difraksi yang dihasilkan digunakan untuk menghitung ukuran kristalit dengan menggunakan persamaan Scherrer:

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (4)$$

Dimana *k* merupakan faktor bentuk kristal umumnya 0,9; λ merupakan panjang gelombang sinar

Tabel 2. Kristalinitas dari GNDC1010

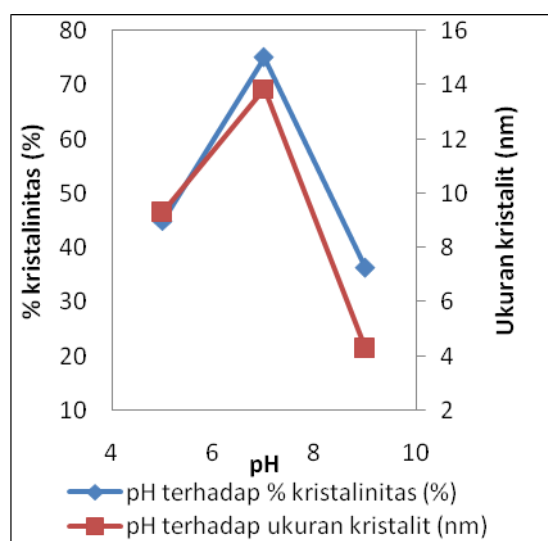
Sampel	Rentang 2 θ ($^{\circ}$)	% kristalin (%)	% amorf (%)
GNDC1010 pembanding	20-90	84,9	15,1
GNDC1010 pH 5	20-90	44,9	55,1
GNDC1010 pH 7	20-90	75,1	24,9
GNDC1010 pH 9	20-90	36,2	63,8

X; β merupakan nilai dari *full width of half maximum* (FWHM); dan θ merupakan sudut Bragg. Dari persamaan (4) yang digunakan maka diperoleh ukuran kristalit untuk GNDC1010 sesuai dengan Tabel 3.

Tabel 3. Ukuran kristalit dari GNDC1010

Sampel	2 θ ($^{\circ}$)	Ukuran kristalit (nm)
GNDC1010 pembanding	28,4347	21,16
GNDC1010 pH 5	28,3528	9,30
GNDC1010 pH 7	28,3938	13,85
GNDC1010 pH 9	28,107	4,27

Kondisi pH optimal dari GNDC1010 hasil sintesis berkaitan dengan ukuran kristalit GNDC1010 hasil sintesis. Hal ini terlihat dari Gambar 2, dimana gambar tersebut menunjukkan bahwa GNDC1010 pH 7 memiliki ukuran kristalit sekitar 13,85 nm. Untuk mencapai kondisi dengan persen kristalinitas yang tinggi pH 7 bisa digunakan tapi diiringi dengan ukuran kristalit yang lebih kecil. Pada pH 9 memiliki ukuran kristalit kecil namun persen kristalinitasnya rendah sehingga perlu dilakukan kalsinasi pada suhu yang lebih tinggi.

**Gambar 2** Pengaruh pH GNDC1010 terhadap ukuran kristalit GNDC1010

Untuk pemanfaatan elektrolit padat ukuran kristalit kecil yang lebih baik digunakan, sehingga kondisi yang baik yaitu pada pH 9. Hal ini karena ukuran kristalit kecil akan mengakibatkan suhu yang digunakan saat sintering rendah.

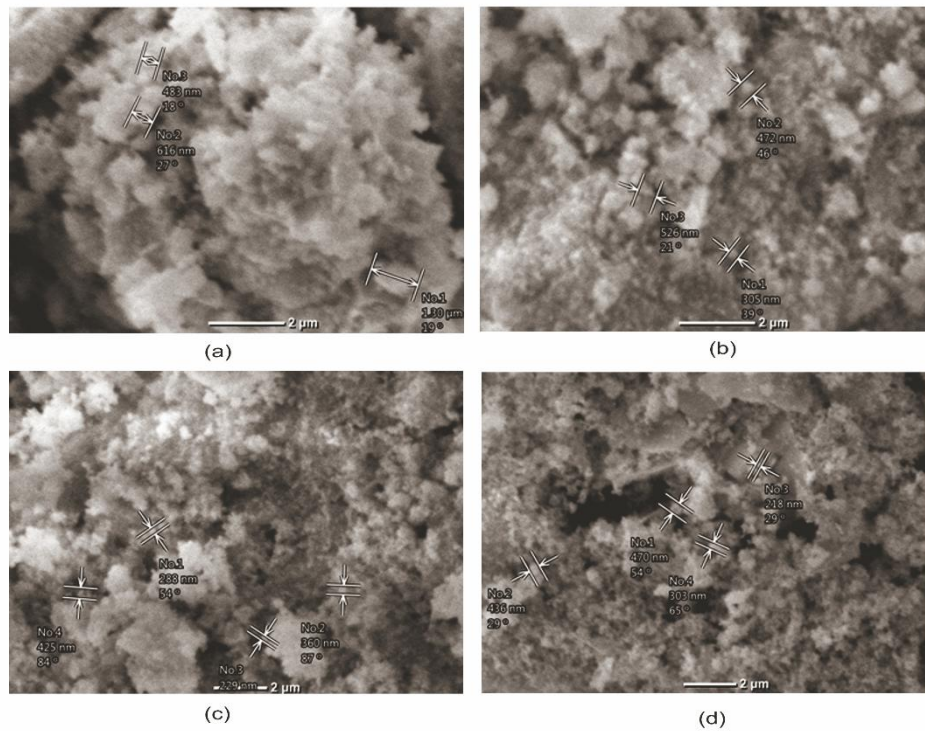
Proses *refinement* (penghalusan) data XRD dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak (*software*) Rietica dengan metode Le Bail. Proses ini dilakukan untuk menentukan struktur kristal, grup ruang, serta parameter kisi ceria terdoping gadolinia dan neodimia yang dihasilkan.

Keempat hasil sintesis GNDC1010 memiliki sistem kristal kubik dengan grup ruang *Fm3m*, dengan parameter kisi 5,4438(7) (GNDC1010 pembanding); 5,4378(3) (GNDC1010 pH 5); 5,435(1) (GNDC1010 pH 7; dan 5,442(8) (GNDC1010 pH 9). Ceria murni memiliki parameter kisi sebesar 5,4113. Jika dibandingkan parameter kisi GNDC1010 hasil sintesis dengan parameter kisi ceria murni terjadi peningkatan nilai parameter kisi. Hal ini mengindikasikan bahwa gadolinia dan neodimia telah berhasil larut di dalam kristal ceria. Pada penelitian yang dilakukan Yao *et al.* (2011), parameter kisi ceria terdoping gadolinia dan neodimia dengan konsentrasi dopan yang dimasukkan sekitar 0,08-0,12 menunjukkan hasil sekitar 5,4322-5,4365. Jari-jari Nd^{3+} dengan bilangan koordinasi VIII (1,109 Å) lebih besar jika dibandingkan dengan jari-jari Gd^{3+} dengan bilangan koordinasi yang sama (1,053 Å). Sedangkan jari-jari ion Ce^{4+} dengan bilangan koordinasi yang sama adalah 0,9x Å. Dengan demikian, saat didoping dengan ion Gd^{3+} dan Nd^{3+} dengan ukuran besar, maka akan menyebabkan kisi kubus mengalami ekspansi, hal ini dibuktikan dengan membesarnya nilai parameter kisi dari GNDC1010 hasil sintesis dibandingkan ceria murni (Yao *et al.* 2011). Tabel 4 menunjukkan hasil penghalusan (*refinement*) data XRD.

Sintesis nanopartikel ceria terdoping Gadolinium dan Neodimium menggunakan metode sol-gel dapat dilakukan dengan variasi pH. Dilihat dari hasil parameter kisi GNDC1010 ekstrak dengan variasi pH menunjukkan hasil yang tidak terlalu jauh, hal ini menunjukkan sintesis ceria terdoping Gadolinia dan Neodimia dapat dilakukan pada kondisi asam, netral, dan basa. Dengan dilakukannya variasi pH menghasilkan parameter kisi GNDC1010 yang tidak terlalu berbeda, hanya berbeda kristalinitas serta ukuran kristalit yang dihasilkan.

Tabel 4 Hasil penghalusan data XRD dengan software Rietica dan metode Le Bail

Sampel	Sistem kristal	Grup Ruang	a (Å)	R_p (%)	R_{wp} (%)
GNDC1010 pembanding	Kubik	$Fm\bar{3}m$	5,4438(7)	7,77	7,19
GNDC1010 pH 5	Kubik	$Fm\bar{3}m$	5,438(3)	9,41	8,33
GNDC1010 pH 7	Kubik	$Fm\bar{3}m$	5,435(1)	7,74	5,92
GNDC1010 pH 9	Kubik	$Fm\bar{3}m$	5,442(8)	10,40	8,77



Gambar 3. Hasil SEM (a) GNDC1010 pembanding (b) GNDC1010 pH 5 (c) GNDC1010 pH 7 (d) GNDC1010 pH 9

Hasil pengamatan morfologi menggunakan SEM ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3, beberapa nanopartikel yang dihasilkan mengalami aglomerasi sehingga ukuran partikel tampak besar yaitu melebihi 100 nm, hal ini serupa dengan laporan Suresh *et al.* (2018). Namun demikian, berdasarkan puncak difraksi sinar X yang lebar dan didukung dengan perhitungan Scherrer maka partikel yang dihasilkan dapat dikategorikan nanopartikel.

KESIMPULAN

Sintesis ceria terdoping gadolinia 10% dan neodimia 10% telah berhasil dilakukan menggunakan ekstrak jeruk lemon dengan metode sol-gel. Sintesis ceria terdoping gadolinia dan neodimia dapat dilakukan pada kondisi asam, netral, dan basa. Struktur kristal yang terbentuk sesuai dengan pembanding dan juga struktur fluorit ceria murni dengan sistem kubik memiliki grup ruang $Fm\bar{3}m$. GNDC1010 hasil sintesis memiliki struktur kubik dengan grup ruang $Fm\bar{3}m$ dan parameter kisi pada

rentang 5,435(1) hingga 5,4438(7) Å. Ukuran kristalit GNDC1010 ekstrak berada pada rentang 4,27 nm hingga 13,85 nm. GNDC1010 ekstrak jeruk lemon pada pH 9 dapat digunakan untuk pemanfaatan elektrolit padat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan Terima kasih kepada Laboratorium Penelitian Kimia Universitas Jenderal Achmad Yani Cimahi dan Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan (PSTNT) BATAN Bandung.

DAFTAR PUSTAKA

Ain, N. & Nor, R. (2013). Sol-gel synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Citrus aurantifolia* extracts. *Ceramics International*. 39: S545–S548.
 Guan, X., Zhou, H., Wang, Y., & Zhang, J. (2008). Preparation and properties of Gd³⁺ and Y³⁺ co-doped ceria-based electrolytes for intermediate temperature solid oxide fuel cells. *Journal of Alloys and Compounds*. 464: 310–316.

- Haijun, Z., Xiaolin, J., Yongjie, Y., Zhanjie, L., Daoyuan, Y., & Zhenzhen, L. (2004). The effect of the concentration of citric acid and pH values on the preparation of MgAl_2O_4 ultrafine powder by citrate sol-gel process. *Materials Research Bulletin*. 39: 839–850.
- Hardian, A. & Ismunandar (2011). Synthesis and characterization of Gd and Er co-doped ceria as solid electrolyte for IT-SOFC via solid state method. International Conference on Instrumentation, Communication, Information Technology and Biomedical Engineering, 7–10.
- Jacobson, A.J. (2009). Materials for solid oxide fuel cells. *Chemistry of Materials*. 22(3): 660-674.
- Novanda, T. (2015). Pengaruh penggunaan ekstrak belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi*) dalam sintesis nanopartikel ceria terdoping 20% neodimia (NDC20). Skripsi. Universitas Jenderal Achmad Yani. Cimahi.
- Sujitha, M.V. & Kannan, S. (2013). Green synthesis of gold nanoparticles using Citrus fruits (*Citrus limon*, *Citrus reticulata* and *Citrus sinensis*) aqueous extract and its characterization. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 102: 15–23.
- Suresh, J., Pradheesh, G., Alexramani, V., Sundrarajan, M. & Hong, S.I. (2018). Green synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticle using insulin plant (*Costus pictus* D. Don) and investigation of its antimicrobial as well as anticancer activities, *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*. 9: 015008.
- Tyas, R. A. (2015). Pengaruh penggunaan ekstrak jeruk nipis (*Citrus aurantifolia*) dalam sintesis nanopartikel ceria terdoping 20% gadolinia (GDC20). Skripsi. Universitas Jenderal Achmad Yani. Cimahi.
- Xu, H., Yan, H., & Chen, Z. (2006). Sintering and electrical properties of $\text{Ce}_{0.8}\text{Y}_{0.2}\text{O}_{1.9}$ powders prepared by citric acid-nitrate low-temperature combustion process. *Journal of Power Sources*. 163: 409–414.
- Yao, H., Zhang, Y., Liu, J., Li, Y., Wang, J., & Li, Z. (2011). Synthesis and characterization of Gd^{3+} and Nd^{3+} co-doped ceria by using citric acid – nitrate combustion method. *Materials Research Bulletin*. 46(1): 75–80.