

Pengaruh Suhu Sinter terhadap Prestasi Elektrokimia Katod Komposit Sel Bahan Api Oksida Pepejal (SOFC) LSCF-SDCC

(Effects of Sintering Temperature on the Electrochemical Performance of Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) composite cathode LSCF-SDCC)

NURUL AKIDAH BAHARUDDIN, ANDANASTUTI MUCHTAR*, MAHENDRA RAO SOMALU, ABU BAKAR SULONG & HUDA ABDULLAH

ABSTRAK

Kertas kajian ini membincangkan kesan suhu pensinteran ke atas prestasi elektrokimia katod komposit sel bahan api oksida pepejal LSCF-SDCC. Katod komposit LSCF-SDCC disediakan dengan nisbah berat 50:50 dan dihasilkan melalui kaedah pengedaran elektroforetik (EPD). Kaedah EPD dijalankan ke atas kedua belah sisi substrat SDCC untuk menghasilkan sel simetri. Sel simetri yang terhasil adalah menggunakan suhu sinter yang berbeza (550°C hingga 750°C) sebelum analisis ke atas mikrostruktur dan ujian prestasi elektrokimia dijalankan. Kesan suhu sinter ke atas keliangan permukaan dikaji menggunakan analisis spektrometer serakan tenaga sinar-X, mikroskop elektron imbasan pancaran medan dan J-image. Kemudian, hubungan antara rintangan pengutuban, R_p dengan suhu sinter diukur menggunakan spektroskop elektrokimia impedans. LSCF-SDCC yang telah disinter pada suhu 600°C memberikan nilai R_p terendah iaitu 0.68 Ω pada suhu operasi 650°C. Kajian ini mencadangkan bahawa suhu sinter antara julat 550-650°C sebagai suhu pensinteran terbaik untuk menghasilkan katod komposit LSCF-SDCC berprestasi tinggi.

Kata kunci: Komposit; pensinteran; sel fuel oksida pepejal

ABSTRACT

The effects of sintering temperature on the electrochemical performance of solid oxide fuel cell composite cathode LSCF-SDCC are discussed in this paper. An LSCF-SDCC composite cathode was prepared at 50:50 weights percentage ratios. The LSCF-SDCC film was fabricated through electrophoretic deposition (EPD) method. EPD was conducted on both sides of the SDCC substrate to produce a symmetrical cell. The symmetrical cell was subjected to different sintering temperatures (550°C to 750°C) before undergoing microstructure analysis and an electrochemical performance test. The effects of sintering temperature change on film surface porosity were first investigated by energy-dispersive X-ray spectroscopy, field emission scanning electron microscopy and ImageJ analysis. Then, the relation of polarisation resistance, R_p , with the sintering temperatures was established through electrochemical impedance spectroscopy. LSCF-SDCC that was sintered at 600°C exhibited the lowest R_p value of 0.68 Ω when operated at 650°C. The results showed that sintering temperature in the range of 550°C to 650°C is the best sintering temperature to produce a high-performance LSCF-SDCC composite cathode.

Keywords: Composites; sintering; solid oxide fuel cell

PENDAHULUAN

Pemilihan bahan yang sesuai akan menentukan keupayaan elektrokimia sesuatu komponen sel bahan api oksida pepejal (SOFC). Bagi katod SOFC, komponen dengan pengutuban katod yang rendah diperlukan. Pengutuban katod merupakan antara penyebab utama prestasi keseluruhan sel merudum pada suhu operasi sederhana-rendah. Pengutuban katod yang menyebabkan kehilangan beza upaya amat bergantung kepada jenis bahan katod dan kaedah pembuatan yang digunakan (Song et al. 2006). Katod SOFC bukan sahaja bertindak sebagai elektrod udara sel malahan ciri-ciri yang ada sesuatu katod akan menentukan prestasi keseluruhan SOFC yang dihasilkan. Katod daripada bahan lantanum strontium kobalt ferit oksida, $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-\delta}$ (LSCF) biasanya digunakan

untuk aplikasi suhu sederhana-rendah (SOFC, IT-LTSOFC). Katod LSCF terbukti mampu beroperasi lebih baik pada suhu di bawah 1000°C berbanding bahan katod seperti lantanum strontium manganit (LSM) (Zhao et al. 2008). Usaha meningkatkan prestasi katod LSCF giat dijalankan oleh penyelidik dari masa ke masa.

Pensinteran komponen katod merupakan salah satu langkah mengawal keliangan. Perubahan nilai keliangan bergantung kepada saiz zarah katod dan suhu sinter. Kekondusian elektronik elektrod yang bergantung kepada keliangan menyebabkan ia turut bersandar kepada suhu sinter yang dipilih (Chiba et al. 1999). Suhu sinter yang terlalu rendah boleh menyebabkan tiada ikatan terbentuk antara zarah. Ikatan antara zarah ini bertindak sebagai laluan pengangkut cas. Peningkatan rintangan pengutuban

berlaku kerana tiada laluan pengangkut cas terbentuk (Farhad & Hamdullahpur 2012).

Dalam kajian ini, hubungan antara suhu sinter dengan keliangan permukaan filem katod komposit LSCF-samarium terdop seria (*samarium doped ceria*, SDC) karbonat dikaji. Seterusnya, kajian hubungan antara suhu sinter dengan prestasi elektrokimia sel simetri IT-LTSOFC dikenal pasti. Ujian keupayaan elektrokimia dijalankan pada lima suhu berbeza yang berada dalam julat suhu operasi bagi IT-LTSOFC (450-800°C). Parameter yang diambil kira dalam kajian keupayaan elektrokimia ini adalah nilai rintangan pengutuban (R_p) bagi sel simetri.

BAHAN DAN KAEDAH

Serbuk katod komposit LSCF-SDC karbonat dihasilkan melalui proses pengisaran bebola berhalaju tinggi (500 rpm, selama 2 jam). Seterusnya, serbuk katod komposit dimasukkan ke dalam ampaiian akueus-organik yang terdiri daripada campuran air ternyah ion dan etanol (kepekatan ampaiian 10 g/L). Elektrolit SDC karbonat (dihasilkan melalui proses penekanan ekapaksi) dicelupkan ke dalam ampaiian bagi menghasilkan enapan filem katod komposit LSCF-SDC karbonat melalui proses pengendapan elektroforetik (voltan 20 V selama 30 min). Pengendapan dilakukan pada kedua belah permukaan substrat elektrolit untuk menghasilkan sel simetri LSCF-SDC karbonat/SDC karbonat/LSCF-SDC karbonat. Seterusnya, sel simetri yang terhasil disinter pada lima suhu berbeza (550°C hingga 750°C). Pencirian filem katod dilakukan menggunakan spektrometer serakan tenaga sinar-X, mikroskop elektron imbasan pancaran medan dan J-image. Kemudian, uji kaji prestasi elektrokimia dijalankan dengan menggunakan stesen penguji SOFC berserta perisian Nova (versi 1.8 2011).

HASIL DAN PERBINCANGAN

PENGARUH PERUBAHAN SUHU SINTER, T_s TERHADAP KELIANGAN PERMUKAAN FILEM KATOD KOMPOSIT

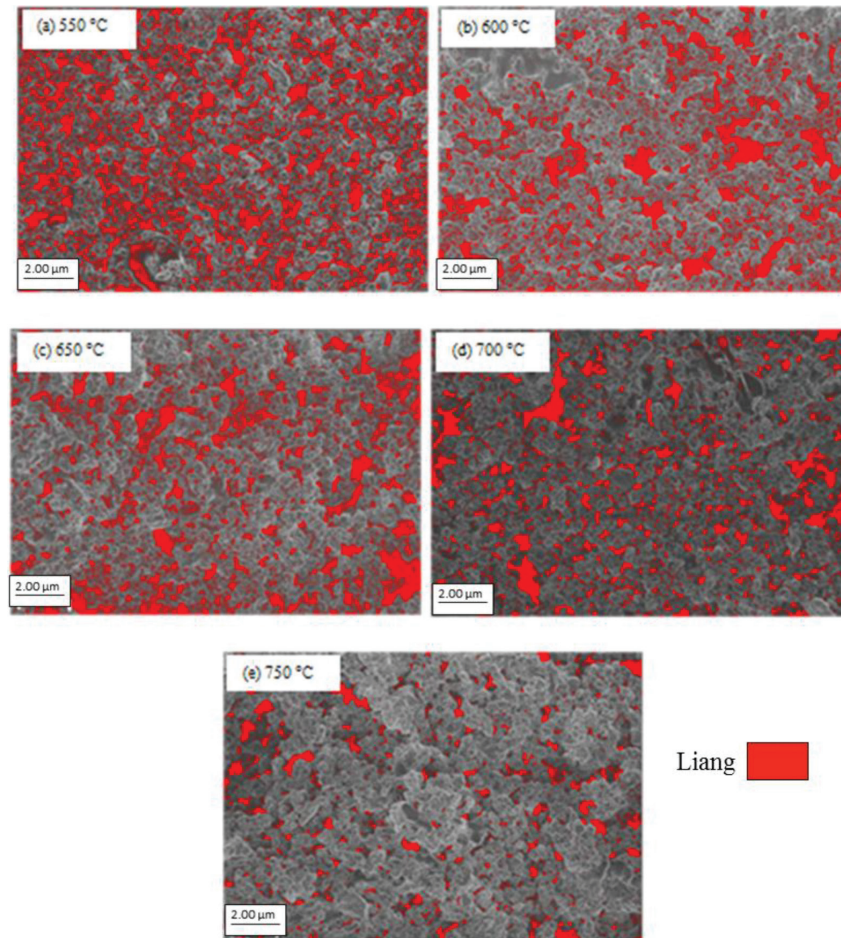
Pengaruh suhu sinter dilihat memberi kesan signifikan ke atas keliangan filem katod komposit. Analisis ke atas keliangan permukaan filem katod komposit dilakukan dengan anggapan bahawa keliangan bertabur adalah seragam dan sama dari permukaan filem katod hingga ke dasar filem. Anggapan ini dibuat berdasarkan pendapat bahawa EPD yang dilakukan dalam keadaan ampaiian stabil akan menghasilkan enapan yang seragam (De Riccardis et al. 2007; Ferrari & Moreno 2010). Rajah 1 merupakan hasil analisis *Image-J* (versi 1.48, 2009) ke atas gambar SEM setiap filem katod komposit yang disinter pada suhu berbeza. Kawasan berliang diwakili dengan kawasan berwarna merah. Berdasarkan pemerhatian, filem katod LSCF-SDC karbonat yang disinter pada suhu 550°C mengandungi liang-liang yang paling banyak. Keluasan kawasan berliang didapati berkurang dengan pertambahan suhu sinter.

Pertambahan suhu sinter menyebabkan sejumlah fasa karbonat melebur dalam filem katod komposit. Leburan karbonat akan menyelaputi zarah-zarah katod komposit dan membentuk aglomerat yang lebih besar. Pertambahan suhu sinter menyebabkan peningkatan saiz zarah aglomerat tadi. Peningkatan saiz aglomerat ini telah mengurangkan saiz kawasan berliang antara zarah, menyebabkan penurunan luas kawasan berwarna merah dalam dapatan analisis yang diperolehi. Kawasan berliang semakin tidak kelihatan apabila filem katod komposit disinter pada suhu 700-750°C. Gumpalan zarah atau aglomerat jelas kelihatan pada imej SEM. Pertambahan saiz aglomerat berikutan kesan pengaturan semula leburan karbonat dalam mikrostruktur katod bukan sahaja mengurangkan keliangan malahan turut menurunkan nilai kekonduksian katod (pertambahan nilai rintangan pengutuban katod, R_p) (Gong et al. 2014).

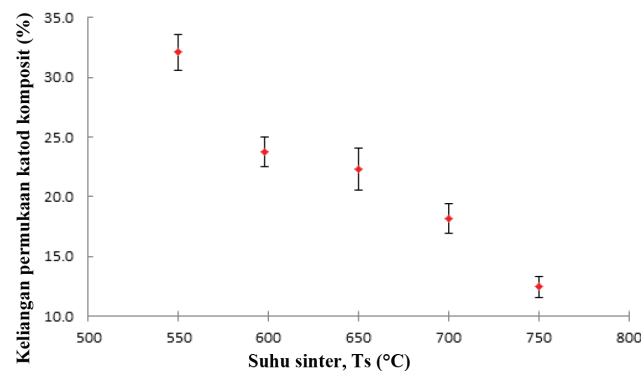
Rajah 2 menunjukkan nilai kuantitatif purata keliangan untuk setiap filem yang disinter pada suhu berbeza. Keliangan permukaan diukur menggunakan perisian *Image-J* menggunakan mikro graf FESEM. Filem katod komposit yang disinter pada suhu 550°C memberikan nilai purata keliangan tertinggi sebanyak $31.33 \pm 0.57\%$. Filem yang disinter pada suhu 600, 650, 700 dan 750°C pula memberikan nilai keliangan masing-masing pada $25.89 \pm 0.72\%$, $24.44 \pm 0.85\%$, $19.25 \pm 0.50\%$ dan $12.98 \pm 0.50\%$.

Keliangan yang praktikal bagi komponen adalah sekitar 30%. Komponen dengan keliangan sebanyak ini akan memberikan kekonduksian ionik yang baik bagi komponen katod (Chiba et al. 1999). Sebilangan pengkaji berpendapat keliangan dalam julat 20-40% merupakan nilai yang boleh diterima untuk komponen katod SOFC (Li 2006; Niwa et al. 2013). Oleh itu, suhu sinter 550, 600 dan 650°C dilihat sebagai suhu sinter yang lebih berpotensi bagi filem katod komposit LSCF-SDC karbonat. Rajah 3 menunjukkan mikrostruktur filem katod komposit yang disinter pada tiga suhu tersebut. Berdasarkan imej SEM, purata saiz zarah dikira menggunakan perisian *Image-J* sekali lagi. Filem katod LSCF-SDC karbonat yang disinter pada suhu 550°C memberikan purata saiz zarah aglomerat sekitar 0.44 μm . Pertambahan pada saiz zarah aglomerat LSCF-SDC karbonat diperhatikan apabila suhu sinter ditambah. Sel dengan suhu sinter 600°C menunjukkan peningkatan dalam purata saiz zarah aglomerat. Purata nilai saiz aglomerat yang diperolehi adalah sebanyak 0.47 μm . Suhu sinter 650°C menyebabkan saiz aglomerat dalam filem katod komposit LSCF-SDC karbonat meningkat sehingga 0.54 μm .

Pertambahan saiz aglomerat ini disebabkan oleh terdapatnya zarah karbonat yang melebur. Leburan ini akan menyelaputi zarah-zarah sedia ada dan menyebabkan aglomerat yang lebih besar terhasil (Muhammed Ali et al. 2013). Pertambahan dalam saiz aglomerat ini dijangka memberikan kesan langsung kepada prestasi elektrokimia sel simetri dengan mengurangkan luas kawasan tindak balas antara zarah dalam sel itu sendiri. Zarah yang lebih kecil



RAJAH 1. Keliangan permukaan filem katod komposit LSCF-SDC karbonat yang telah disinter pada suhu (a) 550°C, (b) 600°C, (c) 650°C, (d) 700°C dan (e) 750°C

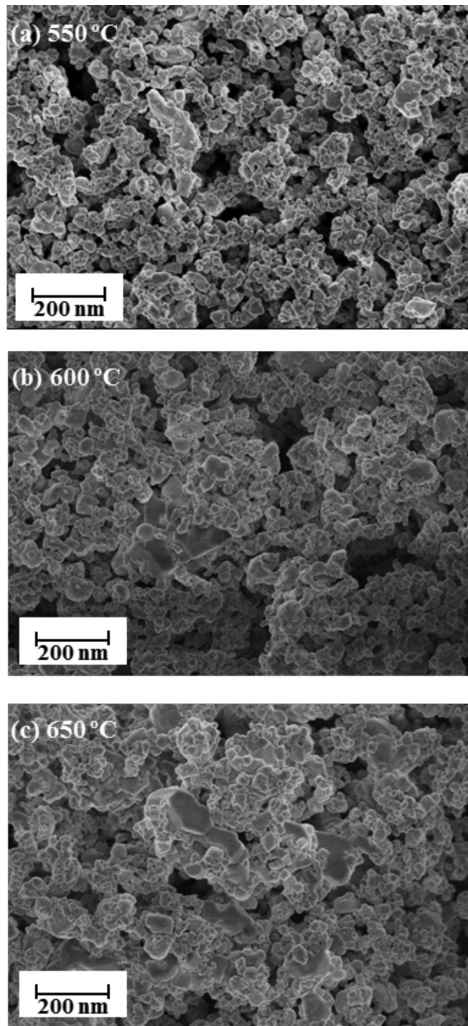


RAJAH 2. Nilai purata keliangan permukaan filem katod komposit LSCF-SDC karbonat pada suhu sinter 550-750°C

memberikan luas permukaan lebih tinggi. Bagi katod, luas permukaan yang tinggi diperlukan untuk meningkatkan ruang sempadan tiga fasa, sekali gus meningkatkan jumlah ion oksida merentasi sempadan ke komponen elektrolit (Ishihara 2009). Justeru, pertambahan saiz aglomerat ini mendorong kepada penurunan kekonduksian ion dalam sesuatu elektrod kerana kurangnya kawasan tindak balas sempadan tiga fasa.

PENGARUH PERUBAHAN SUHU SINTER, T_s TERHADAP TERHADAP NILAI RINTANGAN PENGUTUBAN, R_p FILEM KATOD KOMPOSIT

Kesan pensinteran terhadap keliangan filem katod komposit LSCF-SDC karbonat berkait rapat dengan prestasi elektrokimia sel simetri yang dihasilkan. Prestasi elektrokimia sel diukur menggunakan spektroskopi impedans elektrokimia. Analisis spektroskopi impedans



RAJAH 3. Imej SEM permukaan katod komposit LSCF-SDC karbonat yang telah disinter pada suhu (a) 550°C, (b) 600°C dan (c) 650°C (skala 200 nm)

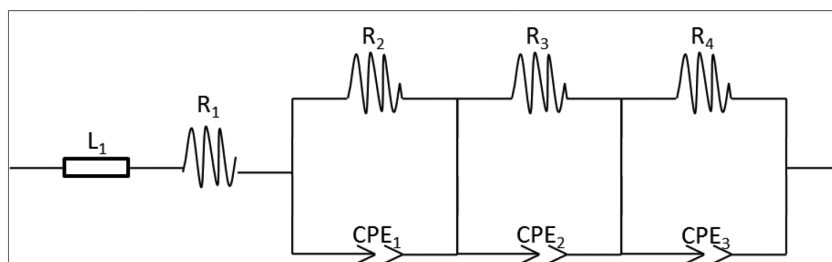
elektrokimia merupakan suatu kaedah yang berkesan untuk mengenal pasti kinetik, resapan dan jerapan yang berlaku pada elektrod (Fan et al. 2013). Sel simetri yang terhasil (LSCF-SDC karbonat/SDC karbonat/LSCF-SDC karbonat) diuji pada suhu operasi 450-650°C dengan julat frekuensi 0.1 Hz hingga 100 kHz dan amplitud isyarat 100 mV. Analisis spektrum impedans ini juga dijalankan dalam persekitaran udara. Sel simetri yang disinter pada

suhu 550, 600 dan 650°C dipilih untuk diuji kerana keliangan ketiga sel ini berada dalam julat yang diterima.

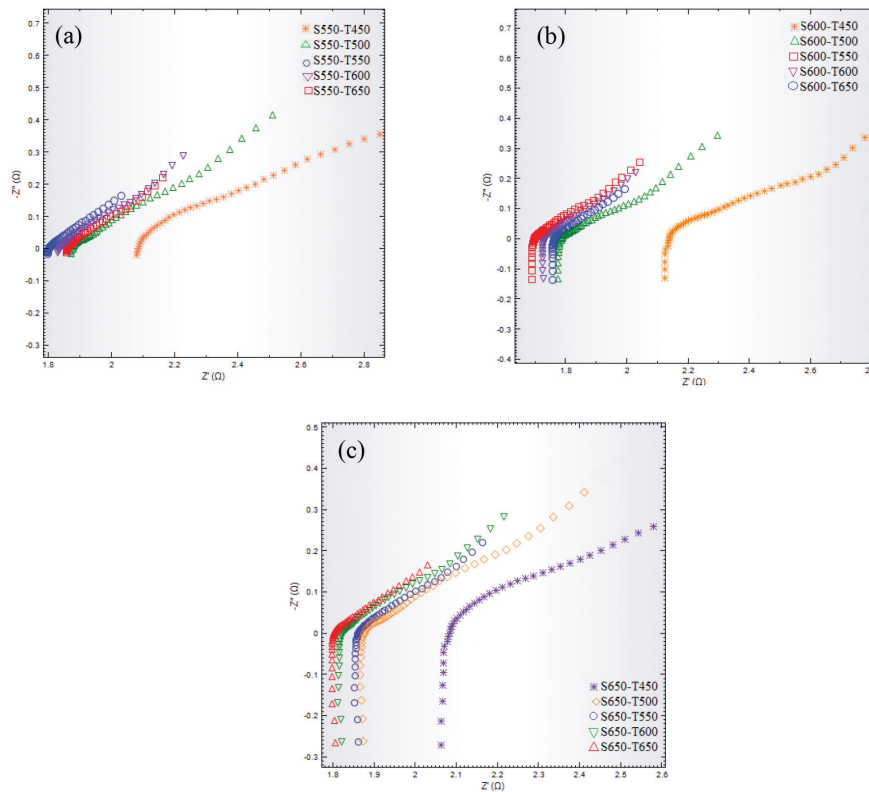
Lengkung Nyquist direkodkan pada setiap suhu operasi terpilih. Pemahaman terhadap kinetik dan tindak balas elektrokimia yang berlaku pada elektrod, litar setara empirik digunakan. Rajah 4 menunjukkan litar setara empirik bagi sel simetri LSCF-SDC karbonat/LSCF-SDC karbonat. L_1 mewakili unsur aruhan yang dihasilkan oleh instrumen itu sendiri, manakala R_1 merupakan rintangan ohm termasuk rintangan pada pengangkutan ionik dalam elektrolit dan rintangan pada pemindahan elektron dalam komponen elektrod. Jumlah R_2 , R_3 dan R_4 dikenali sebagai rintangan pengutuban elektrod (R_p). R_p dikaitkan dengan tindak balas yang berlaku pada katod iaitu resapan, jerapan, penceraian molekul oksigen dan pemindahan ionik oksigen pada ruang sempadan tiga fasa (TPB). CPE pula adalah unsur fasa malar (*constant phase element*, CPE) yang mewakili kapasitor tidak unggul.

Lengkung Nyquist bagi sel simetri yang disinter pada suhu 550, 600 dan 650°C ditunjukkan dalam Rajah 5. Secara umumnya, ketiga-tiga rajah memberikan corak lengkung Nyquist yang sama. Lengkung Nyquist untuk sel simetri menepati jangkaan awal, iaitu suhu operasi yang rendah (450°C) menyebabkan nilai R_p yang tinggi diperoleh. Kebiasaannya, terdapat tiga lengkung yang diperoleh selepas penyesuaian litar separa empirik dilakukan ke atas sel (Ortiz-Vitoriano et al. 2013). Lengkung pada kawasan berfrekuensi rendah ($LFR \sim 10^{-1}$ Hz) mewakili proses yang berlaku pada bahagian elektrod sel. Proses tersebut melibatkan resapan fasa gas, penukaran permukaan oksigen di ruang sempadan tiga fasa (TPB) dan resapan ion oksigen dalam elektrod pual. Lengkung pada kawasan frekuensi sederhana ($MFR \sim 10^2$ Hz) mewakili penceraian oksigen kepada ion oksida, pemindahan cas pada antara muka elektrod, kekonduksian elektrik elektrod pemungut arus dan kekonduksian ionik di antara elektrod dan elektrolit. Seterusnya, lengkung pada kawasan berfrekuensi tinggi ($HFR \sim 10^4$ Hz) dipengaruhi oleh sempadan ira elektrolit. HFR kurang penting bagi kajian berkaitan katod kerana ianya hanya melibatkan komponen elektrolit semata-mata.

Berdasarkan rujukan, didapati analisis impedans menggunakan sel simetri dengan konfigurasi sama telah digunakan oleh pengkaji terdahulu (Ortiz-Vitoriano



RAJAH 4. Litar setara empirik spektrum impedans sel simetri LSCF-SDC karbonat/SDC karbonat/LSCF-SDC karbonat



RAJAH 5. Spektrum impedans bagi sel simetri (katod/elektrolit/katod) pada suhu operasi 450-650°C yang disinter pada suhu (a) 550°C, (b) 600°C dan (c) 650°C

et al. 2013). Justeru, litar separa empirik yang sama digunakan untuk kajian kali ini tanpa melibatkan proses penyuaiian lengkung dilakukan untuk mendapatkan litar terbaik. Filem katod komposit LSCF-SDC karbonat yang mengalami pensinteran pada suhu 550°C memberikan nilai berbeza bagi rintangan pengutuban, R_p pada setiap suhu operasi yang dipilih. Nilai R_p yang diperoleh menerusi lengkung Nyquist untuk setiap sampel sel simetri diringkaskan seperti dalam Jadual 1. Nilai R_p terendah diperoleh daripada sel simetri yang disinter pada suhu 600°C iaitu sebanyak 0.68 Ω . Sel simetri dengan suhu sinter 550°C yang mempunyai keliangan paling tinggi didapati mempunyai nilai R_p yang lebih tinggi berbanding sel dengan suhu sinter 600°C. Hal ini disebabkan oleh kekonduksian ionik LSCF pada suhu sinter 600°C adalah lebih baik walaupun keliangan filem pada suhu ini kurang sedikit berbanding sel simetri

dengan suhu sinter 550°C. Manakala, nilai R_p tertinggi dilihat pada sel simetri yang disinter pada suhu 650°C. Pembentukan aglomerat dalam filem katod didapati telah meninggikan rintangan elektrod (Shen et al. 2013). Nilai R_p yang diperoleh dari kajian ini didapati setanding dengan hasil kajian pengkaji terdahulu (Fan et al. 2013; Ortiz-Vitoriano et al. 2013).

Jadual 2 menunjukkan perbandingan nilai R_p yang diperoleh melalui kajian ini dengan kajian terhampir yang telah dijalankan pengkaji terdahulu. Nilai R_p yang diperoleh daripada kajian ini didapati lebih rendah berbanding kajian terdahulu pada suhu operasi 600°C. Bahan kajian yang berbeza untuk setiap kajian dipercayai menyumbang kepada perbezaan nilai R_p . Hasil kajian ini mendapati bahan katod komposit LSCF-SDC karbonat berpotensi cerah berbanding bahan-bahan lain yang telah digunakan.

JADUAL 1. Nilai rintangan pengutuban, R_p bagi sel simetri yang disinter pada suhu 550-650°C pada suhu operasi 450-650°C

Suhu Operasi	$R_{p(Ts-550)}$ (Ω)	$R_{p(Ts-600)}$ (Ω)	$R_{p(T-650)}$ (Ω)
450	4.09	3.15	4.71
500	2.76	2.43	3.68
550	2.28	1.34	3.49
600	1.29	1.15	3.42
650	1.21	0.68	1.61

JADUAL 2. Perbandingan nilai rintangan pengutuban, R_p kajian ini dengan kajian terdahulu

Kajian berkaitan	Rintangan pengutuban, R_p (Ω)			
	500°C	550°C	600°C	650°C
Data kajian ini dengan pensinteran pada suhu 600°C. Bahan katod: LSCF-SDC karbonat	2.43	1.34	1.15	0.68
Fan et al. (2013) Bahan katod: <i>Lithiated NiCuZnO_x</i> , LNCZO	3.48	2.79	1.63	-
Ortiz-Vitoriano et al. (2013) Bahan katod: <i>La_{0.6}Ca_{0.4}Fe_{0.8}Ni_{0.2}O₃</i> , LCFN	-	-	5.79	1.95

KESIMPULAN

Kajian ini mendapati bahawa suhu sinter 550-650°C memberikan keputusan yang baik dalam setiap analisis yang dijalankan. Sel simetri yang disinter pada suhu 550°C memberikan nilai keliangan tertinggi iaitu sebanyak $31.33 \pm 0.57\%$. Namun begitu, sel yang disinter pada suhu 600°C dan 650°C turut memberikan nilai keliangan dalam julat yang diterima (20-40%). Seterusnya, nilai rintangan pengutuban, R_p memberi gambaran tentang prestasi elektrokimia filem katod komposit LSCF-SDC karbonat. Nilai R_p terendah diperoleh oleh sel yang disinter pada suhu 600°C ($R_p=0.68 \Omega$). Perbezaan nilai R_p yang sedikit untuk setiap sel dengan suhu sinter berbeza menunjukkan suhu 550-650°C berpotensi digunakan sebagai suhu sinter filem katod komposit LSCF-SDC karbonat.

PENGHARGAAN

Penulis merakamkan penghargaan kepada Universiti Kebangsaan Malaysia dan Kementerian Sains, Teknologi dan Inovasi di atas tajaan projek melalui geran penyelidikan GUP-2014-070 dan 03-01-02-SF1079. Penulis juga merakamkan penghargaan kepada Institut Sel Fuel UKM dan Pusat Pengurusan Penyelidikan & Instrumentasi UKM di atas kemudahan menjalankan analisis yang disediakan.

RUJUKAN

- Chiba, R., Yoshimura, F. & Sakurai, Y. 1999. An investigation of $\text{LaNi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ as a cathode material for solid oxide fuel cells. *Solid State Ionics* 124: 281-288.
- De Riccardis, M.F., Carbone, D. & Rizzo, A. 2007. A novel method for preparing and characterizing alcoholic EPD suspensions. *Journal of Colloid and Interface Science* 307(1): 109-115.
- Fan, L., Zhang, H., Chen, M., Wang, C., Wang, H., Singh, M. & Zhu, B. 2013. Electrochemical study of lithiated transition metal oxide composite as symmetrical electrode for low temperature ceramic fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy* 38: 11398-11405.

- Farhad, S. & Hamdullahpur, F. 2012. Minimization of polarization resistance in solid oxide fuel cells by proper design of micro-/ nano-structure of porous composite electrodes. *Electrochimica Acta* 61: 1-12.
- Ferrari, B. & Moreno, R. 2010. EPD kinetics: A review. *Journal of the European Ceramic Society* 30: 1069-1078.
- Gong, Y., Li, X., Zhang, L., Tharp, W., Qin, C. & Huang, K. 2014. Promoting electrocatalytic activity of a composite SOFC cathode. *Journal of the Electrochemical Society* 161(3): F226-F232.
- Ishihara, T. 2009. Chapter 1. Structure and properties of perovskite oxides. Dlm. Ishihara (pnyt). *Perovskite Oxide for Solid Oxide Fuel Cells*. Springer Science+Business Media. hlm. 4. doi:10.1007/978-0-387-77708-5.
- Li, S., Sun, X., Wen, Z. & Sun, J. 2006. A new candidate as the cathode material for intermediate and low temperature SOFCs. *Rare Metals* 25(6): 213-217.
- Muhammed Ali, S.A., Muchtar, A., Muhamad, N., Sulong, A.B. & Majlan, E.H. 2013. Influence of sintering temperature on the power density of Samarium doped-ceria carbonate electrolyte composites for low-temperature solid oxide fuel cells. *Ceramic International* 39: 5813-5820.
- Niwa, E., Uematsu, C. & Hashimoto, T. 2013. Sintering temperature dependence of conductivity, porosity and specific surface area of $\text{LaNi}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_3$ ceramics as cathode material for solid oxide fuel cells - Superiority of Pechini method among various solution, mixing processes. *Materials Research Bulletin* 48: 1-6.
- Ortiz-Vitoriano, N., Hauch, A., De Larramendi, I., Bernuy-Lopez, C., Knibbe, R. & Rojo, R. 2013. Electrochemical characterization of $\text{La}_{0.6}\text{Ca}_{0.4}\text{Fe}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$ perovskite cathode for IT-SOFC. *Journal of Power Sources* 239: 196-200.
- Shen, Y., Zhao, H., Swierczek, K., Du, Z. & Xie, Z. 2013. Lattice structure, sintering behavior and electrochemical performance of $\text{La}_{1.7}\text{Ca}_{0.3}\text{Ni}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_{4+\delta}$ as cathode material for intermediate temperature solid oxide fuel cell. *Journal of Power Sources* 240: 759-765.
- Song, L., Xueli, S., Zhongsheng, W. & Juncai, S. 2006. A new candidate as the cathode material for intermediate and low temperature SOFCs. *Rare Metals* 25: 213-217.
- Zhao, H., Mauvy, F., Lalanne, C., Bassat, J.M., Fourcade, S. & Grenier, J.C. 2008. New cathode materials for IT-SOFC: Phase stability, oxygen exchange and cathode properties of $\text{La}_{2-x}\text{NiO}_{4+\delta}$. *Solid State Ionics* 179: 2000-2005.

Institut Sel Fuel
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia

Diserahkan: 17 Mac 2015
Diterima: 10 Disember 2015

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: mughtar@ukm.edu.my