

Kesan Masa Pengendapan dan Saiz Elektrod Lawan dalam Penghasilan Katod Komposit LSCF-SDC Karbonat untuk SOFC

(Effects of Deposition Time and Counter-electrode Size on the Fabrication of LSCF-SDC Carbonate Composite Cathode for SOFC)

NURUL AKIDAH BAHARUDDIN, HAMIMAH ABD. RAHMAN, ANDANASTUTI MUCHTAR*,
ABU BAKAR SULONG & HUDA ABDULLAH

ABSTRAK

Penggunaan proses pengendapan elektroforetik (EPD) telah menunjukkan potensi yang memberangsangkan dalam pembangunan komponen katod untuk sel tunggal sel fuel oksida pepejal (SOFC). Sehubungan itu, kesan saiz elektrod lawan dan masa pengendapan terhadap ketebalan dan kualiti filem komposit katod LSCF-SDC karbonat pada substrat seria terdop samarium (SDC) karbonat telah dikaji untuk membuktikan kebolehlaksanaan kaedah ini. Kesan perubahan parameter tersebut terhadap penghasilan filem LSCF-SDC karbonat dikenal pasti dengan menetapkan nilai pH ampai dan voltan naikan. Parameter masa pengendapan diubah suai dengan lima masa yang berbeza iaitu antara 10 - 30 min, manakala dua saiz elektrod lawan yang digunakan ialah $25 \times 25 \text{ mm}^2$ dan $50 \times 50 \text{ mm}^2$. Filem komposit katod kemudian disinter pada suhu 600°C selama 90 min. Pencirian mikrostruktur dan ketebalan filem LSCF ini diperolehi menggunakan mikroskop imbasan elektron (SEM). Penggunaan saiz elektrod lawan yang besar ($50 \times 50 \text{ mm}^2$) didapati mampu menghasilkan filem komposit katod yang lebih tebal. Selain itu, kesan perubahan parameter (masa pengendapan dan saiz jaring elektrod lawan) dikenal pasti melalui analisis berat dan ketebalan filem LSCF-SDC karbonat. Filem katod berketebalan 4.6 - 30.8 μm telah berjaya diendap pada tempoh pengendapan yang digunakan. Ketebalan katod komposit LSCF-SDC karbonat yang diperolehi berada dalam julat ketebalan yang telah dihasilkan oleh pengkaji terdahulu melalui kaedah pembentukan yang sama ke atas bahan katod lain. Keputusan kajian menunjukkan bahawa kaedah pengendapan elektroforetik bagi pembentukan katod komposit amat berpotensi untuk kajian yang lebih intensif.

Kata kunci: Elektrod lawan; LSCF-SDC karbonat; masa pengendapan; pengendapan elektroforetik (EPD)

ABSTRACT

The electrophoretic deposition (EPD) process has shown great potential in the development of cathodes for solid oxide fuel cell (SOFC). This study thus aimed to determine the feasibility of the electrophoretic deposition technique in producing composite cathode films. Two parameters were investigated, namely, the effects of counter electrode size and those of deposition time on the thickness and quality of an LSCF-SDC carbonate cathode composite deposited onto an SDC carbonate substrate. The effects of the changed parameters were observed by applying constant suspension pH and voltage. Five different deposition times ranging from 10 to 30 min were selected. The counter electrode sizes used were $25 \times 25 \text{ mm}^2$ and $50 \times 50 \text{ mm}^2$. Then, the cathode composite films were sintered at 600°C for 90 min. Microstructural characterization and film thickness measurement were performed using a scanning electron microscope (SEM). The $50 \times 50 \text{ mm}^2$ counter electrode was found to produce a cathode composite film with higher thickness. The effects of the selected parameters (deposition time and counter electrode size) were also determined by analyzing the weight and thickness of the obtained LSCF-SDC carbonate films. The results showed that for the selected time interval, a film thickness of 4.6 to 30.8 μm is generated. Further studies on fabricating LSCF-SDC carbonate cathode composites by electrophoretic deposition present promising potential given that the film thickness obtained agree well with those derived in previous studies on various types of cathode materials.

Keywords: Counter electrode; deposition time; electrophoretic deposition (EPD); LSCF-SDC carbonate

PENDAHULUAN

Sel fuel oksida pepejal (SOFC) merupakan salah satu sumber tenaga yang mesra alam bagi abad ke-21. SOFC mampu menukarkan tenaga dengan kecekapan yang tinggi di samping penyingkiran bahan pencemaran udara yang rendah. SOFC lazimnya digunakan pada aplikasi bersuhu tinggi. Suhu operasinya mampu melebihi 1000°C

bergantung kepada keperluan (Minh 2004). Walau bagaimanapun, perubahan teknologi membawa kepada idea penghasilan SOFC yang beroperasi pada suhu sederhana-rendah. Suhu pengoperasian SOFC bersuhu sederhana ialah kira-kira $500 - 700^\circ\text{C}$. SOFC bersuhu sederhana menjadi tumpuan kajian kerana ia dapat mengurangkan masalah degradasi yang pantas, mengurangkan kos pemrosesan

dan dapat meningkatkan kestabilan sel bagi masa panjang serta memanjangkan jangka hayat komponen (Hamimah et al. 2011b).

Walaupun bagaimanapun, kelebihan yang diperolehi daripada penggunaan SOFC bersuhu sederhana tersebut masih dibatasi oleh beberapa masalah. Masalah utama yang dihadapi apabila SOFC beroperasi pada suhu sederhana adalah masalah penurunan prestasi sel. Hal ini dapat diatasi dengan mencadangkan penggunaan bahan elektrod yang lain (Fergus 2009). Bahan yang mampu beroperasi lebih baik pada suhu rendah menjadi pilihan untuk digunakan; contohnya katod sel menggunakan bahan perovskit lantanum strontium kobalt ferit ($\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-\delta}$, LSCF) bagi menggantikan bahan biasa yang digunakan iaitu lanthanum strontium manganat (LSM). Hal ini kerana, LSCF terbukti mempunyai sifat konduktor ion yang baik walaupun beroperasi pada suhu sederhana rendah (Noorashrina et al. 2009; Sutin 2004). Selain daripada itu, penggunaan LSCF sebagai bahan katod mampu mengurangkan rintangan pengutuban (R_p) katod dan meluaskan kawasan sempadan tiga fasa bagi tindak balas penurunan oksigen (Hamimah et al. 2012). Di samping itu, bagi menambahkan kekonduksian ionik katod LSCF, bahan ini boleh digabungkan bersama bahan elektrolit; contohnya serium terdop samarium (SDC). Gabungan antara LSCF dengan bahan konduktor ionik SDC ini mampu melebarkan kawasan sempadan tiga fasa dan merendahkan rintangan pengutuban (Lee et al. 2010).

Selain penukaran bahan katod, kaedah pembuatan elektrod juga turut menyumbang kepada peningkatan prestasi sel. Filem elektrod boleh diperolehi melalui kaedah seperti percetakan skrin, acuan pita, pengecatan buburan dan tekan kering (Dedikarni et al. 2012; Ma et al. 2006; Song et al. 2010; Xia et al. 2001). Selain daripada itu, kaedah pengendapan elektroforetik (EPD) juga merupakan salah satu kaedah yang berpotensi untuk digunakan. Pengendapan elektroforetik merupakan salah satu kaedah bagi menghasilkan lapisan filem atau mendakan pada satu elektrod melalui tindak balas ion yang terdapat dalam elektrolit (ampaiian) dengan elektrod. Kaedah ini dapat mengurangkan masa penghasilan mendapan, seterusnya menjimatkan kos dan lebih efektif (Besra & Liu 2006). Kaedah pengendapan elektroforetik umumnya digunakan untuk membentuk lapisan filem pada permukaan substrat. Konsep asasnya yang menyamai kaedah elektrolisis memudahkan EPD dipilih dan diaplikasi dalam kebanyakan kajian. Seterusnya, kelebihan EPD menghasilkan filem berketebalan mikron membuatkan ia sering diaplikasikan dalam bidang SOFC. Filem dengan julat mikron memadai kerana filem yang terlalu nipis (nanometer) akan menyebabkan peningkatan rintangan pengutuban katod dan menjejaskan kekonduksian sel (Virkar et al. 2000).

Ketebalan filem yang dihasilkan melalui kaedah EPD bergantung kepada pelbagai parameter. Antara parameter penting proses EPD adalah seperti pH ampaiian, masa pengendapan, voltan kenaikan dan saiz elektrod lawan. Bagi nilai pH ampaiian, ampaiian berasid dan beralkali boleh digunakan untuk penyediaan ampaiian. Namun pH

berasid dikatakan lebih membantu proses pengendapan ini kerana asid dengan pH yang rendah menyumbang kepada kekuatan mobiliti elektroforetik yang tinggi berbanding ampaiian beralkali dengan pH yang tinggi (Mishra et al. 2010). Selain itu, pemilihan pelarut sama ada pelarut organik, akueus atau campuran kedua-duanya perlu diambil kira kerana parameter ini akan mempengaruhi hasil pengendapan. Sifat ampaiian akueus yang stabil diperlukan untuk menghasilkan mendapan yang seragam. Namun ampaiian jenis ini mempunyai voltan kenaikan yang rendah, menyebabkan hanya sedikit zarah yang berjaya termendap. Penambahan pelarut organik ke dalam larutan akueus dapat menghasilkan ketumpatan cas permukaan yang mencukupi untuk menggalakkan proses pengendapan (De Riccardis et al. 2006).

Dalam kebanyakan kajian, perbezaan pada mikrostruktur filem yang terhasil bergantung kepada parameter yang dimanipulasikan seperti masa pengendapan dan voltan kenaikan (Chen & Liu 2001). Oleh kerana kaedah EPD mempunyai sistem ampaiian-elektrod yang berbeza, ruang yang luas masih tersedia untuk dikaji kerana setiap sistem mempunyai sifat yang unik. Kajian terhadap setiap parameter yang telah disebutkan juga berpotensi untuk diterokai. Oleh itu, melalui kajian ini, dua parameter (saiz elektrod lawan dan masa pengendapan) telah dipilih. Perbincangan tertumpu kepada filem katod LSCF-SDC karbonat yang terhasil dan kaitannya dengan parameter proses EPD yang telah dipilih.

BAHAN DAN KAEDAH

BAHAN

Dalam kajian ini, serbuk lantanum strontium kobalt ferit 6428 (LSCF6428) dan serbuk serium terdop samarium (SDC) yang digunakan diperolehi dari sumber komersil (Sigma-Aldrich Sdn. Bhd., Selangor, Malaysia). Purata saiz zarah LSCF6428 adalah antara 0.3 – 0.6 μm dan untuk SDC adalah di bawah 100 nm. Substrat bagi proses EPD disediakan dengan menggunakan serbuk nano SDC karbonat. Ampaiian terdiri daripada campuran serbuk LSCF6428, air ternyahion dan etanol dengan nisbah isi padu serbuk kepada ampaiian adalah 1:2. Agen penyerak polidimetil amonium klorida (PDADMAC 0.002 M) digunakan dalam proses EPD (Hamimah et al. 2011a). Bahan elektrod dan jaring elektrod lawan yang digunakan ialah keluli tahan karat AISI318.

PENYEDIAAN SUBSTRAT

Substrat yang digunakan dalam kajian ini ialah SDC karbonat. Substrat SDC karbonat dalam proses EPD dihasilkan daripada serbuk SDC karbonat. Penghasilan serbuk SDC karbonat melibatkan tiga bahan utama iaitu serbuk nano SDC, natrium karbonat dan litium karbonat. Natrium karbonat dan litium karbonat dicampurkan untuk memastikan fasa karbonat dapat dihasilkan. Komposisi campuran terdiri daripada 80 %berat serbuk SDC, 12 %berat litium karbonat dan 8 %berat natrium karbonat. Propanol

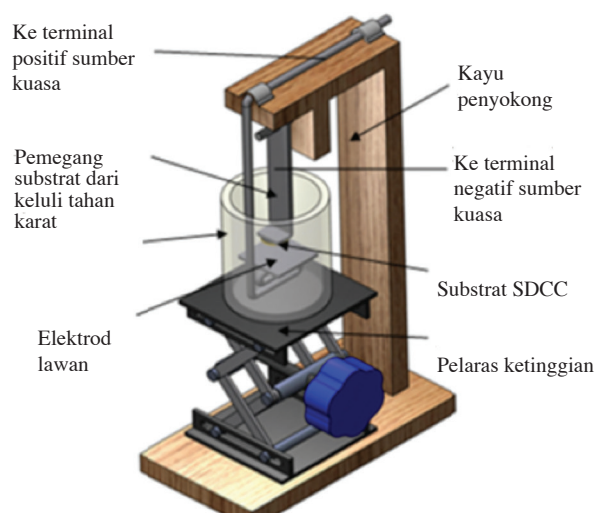
digunakan sebagai pelarut untuk proses campuran. Nisbah kuantiti propanol terhadap berat serbuk ialah 2:1. Setelah pengisaran bebola menghasilkan campuran sekata, campuran dikeringkan pada suhu 60°C selama 12 jam. Seterusnya, serbuk dikalsin pada suhu 680°C selama 40 min dengan kadar kenaikan suhu 5°C/min. Serbuk SDC karbonat yang telah diperoleh dibentuk menjadi palet berdiameter 13 mm melalui kaedah penekanan menggunakan pemampat hidraulik ekapaksi (Carver, USA). Beban mampatan yang digunakan adalah 30 MPa. Palet SDC karbonat kemudian disinter pada suhu 600°C selama 5 jam dengan kadar kenaikan suhu 5°C/min.

PENYEDIAAN AMPAIAN

Ampaian akueus-organik disediakan dengan nisbah campuran 1 : 1 (b/b). Air ternyahion dan etanol dipilih sebagai komponen campuran bagi ampaian terhadap serbuk LSCF-SDC karbonat. Kepekatan ampaian yang digunakan ialah 10 g/L. Agen penyerak PDADMAC ditambah ke dalam ampaian sebanyak 1 %berat daripada berat serbuk. Seterusnya, nilai keupayaan zeta ampaian diukur. Nilai keupayaan zeta bagi ampaian daripada pH2 hingga 11 diukur dengan menggunakan Zetasizer nano ZS (Malvern, UK) untuk mengenal pasti nilai pH yang sesuai untuk proses EPD. Asid nitrik dan ammonium hidroksida ditambah untuk mengawal nilai pH. Ampaian diletakkan di atas pengaduk magnetik selama 30 min dan melalui proses ultrasonik selama 1 jam untuk memecahkan aglomerat dan mendapatkan ampaian yang homogen. Selepas itu, pH ampaian diperiksa sekali lagi bagi memastikan tiada perubahan pH ampaian sebelum prosedur EPD diteruskan.

PROSES PENGENDAPAN ELEKTROFORETIK FILEM KATOD LSCF-SDC KARBONAT

Ampaian LSCF-SDC karbonat yang telah terurai sepenuhnya digunakan dalam proses ini. Sebelum proses EPD dimulakan, permukaan substrat SDC karbonat disemur dengan cecair grafit bagi menambah kekonduksian substrat. Berat substrat ditimbang sebelum EPD dijalankan. Seterusnya, permukaan SDC karbonat yang tidak disemur cecair grafit dipastikan berada tepat di permukaan ampaian. Rajah 1 menunjukkan penyusunan alat radas untuk proses EPD. Proses EPD dijalankan dengan menggunakan pembekal kuasa berarus terus dengan nilai voltan yang tetap iaitu sebanyak 20 V. Filem LSCF-SDC karbonat termendap pada permukaan substrat SDC karbonat. Masa pengendapan yang digunakan bagi setiap pH yang dipilih ialah 15 min. Selepas proses EPD, hasil mendapan pada elektrod dikeringkan pada suhu bilik. Kemudian, berat palet SDC karbonat ditimbang sekali lagi bagi mendapatkan berat filem katod yang termendap pada substrat. Berat mendapan yang terhasil dikaji bagi menentukan pH ampaian yang sesuai untuk digunakan pada uji kaji seterusnya. Langkah diulang untuk menentukan voltan kenaan yang sesuai. Nilai pH ampaian yang sesuai digunakan dan ditetapkan. Masa yang digunakan untuk menentukan voltan kenaan yang sesuai ialah 10 min.



RAJAH 1. Penyusunan alat radas proses EPD

Setelah mendapatkan nilai pH dan voltan kenaan yang sesuai, proses EPD dilakukan bagi lima tempoh masa pengendapan yang berbeza iaitu 10, 15, 20, 25 dan 30 min. Berat filem yang terhasil direkodkan bagi mengenal pasti kesan masa pengendapan terhadap berat dan ketebalan filem. Proses EPD juga diulang untuk dua parameter saiz jaring elektrod lawan yang berbeza iaitu 25 × 25 mm dan 50 × 50 mm pada lima tempoh masa pengendapan 10-30 min. Palet komposit katod LSCF-SDC karbonat yang dihasilkan melalui proses EPD disinter pada suhu 600°C selama 90 min dengan kadar kenaikan suhu 2°C/min.

PENCIRIAN MIKROSTRUKTUR FILEM KATOD

Pencirian mikrostruktur sampel palet komposit katod LSCF-SDC karbonat yang telah disinter dilakukan dengan menggunakan mikroskop imbasan elektron (Zeiss EVO MA10) pada bahagian ketebalan dan permukaan filem katod. Ketebalan filem katod yang perlu dihasilkan adalah dalam julat 10 – 20 μm. Ketebalan filem yang diperoleh dibandingkan berdasarkan parameter masa pengendapan dan saiz jaring elektrod lawan.

HASIL DAN PERBINCANGAN

KEUPAYAAN ZETA AMPAIAN EPD

Keupayaan zeta partikel di dalam ampaian merupakan faktor utama yang menentukan keberhasilan proses EPD. Keupayaan zeta memainkan peranan dalam kestabilan dan proses pengendapan partikel. Pemilihan sebagai agen penyerakan adalah merujuk kepada hasil kajian yang telah dijalankan sebelum ini (Hamimah et al. 2011a). Rajah 2 menunjukkan perubahan nilai keupayaan zeta terhadap pH ampaian EPD. Ampaian dengan nilai keupayaan zeta melebihi ± 30 mV adalah memadai untuk partikel terampai dengan stabil dan membolehkan proses EPD berlaku (Greenwood 2003).

Berdasarkan analisis keupayaan zeta, ampaian berasid dengan nilai pH5 didapati lebih sesuai untuk digunakan dalam kerja seterusnya kerana dijangkakan hasil enapan yang lebih memuaskan akan diperoleh. Di samping itu, penggunaan voltan kenaikan tidak boleh terlalu tinggi kerana ia boleh menyebabkan ketidakhomogenan lapisan filem (Chen & Liu 2001). Oleh itu, nilai voltan bagi uji kaji ditetapkan pada 20 V.

KESAN SAIZ JARING ELEKTROD LAWAN TERHADAP KETEBALAN FILEM LSCF-SDC KARBONAT

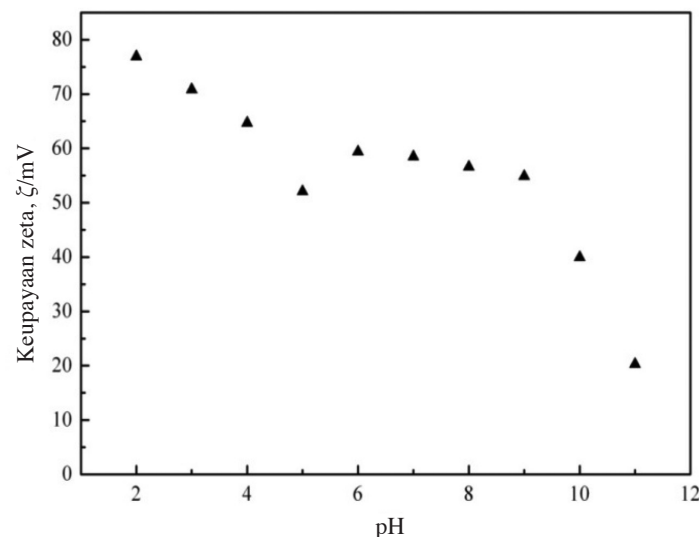
Pengaruh saiz jaring elektrod lawan terhadap ketebalan filem dapat dilihat pada Rajah 3. Melalui Rajah 3, dapat diperhatikan bahawa filem yang lebih tebal diperoleh dengan penggunaan saiz jaring elektrod lawan yang lebih besar dalam tempoh pengendapan tertentu. Filem yang lebih tebal terhasil kerana medan elektrik yang besar mampu meningkatkan kadar pergerakan zarah di dalam ampaian untuk termendap pada substrat (Besra et al. 2010).

Rajah 3 menunjukkan ketebalan filem 10-20 μm telah dihasilkan pada masa pengendapan 20, 25 dan 30 min untuk

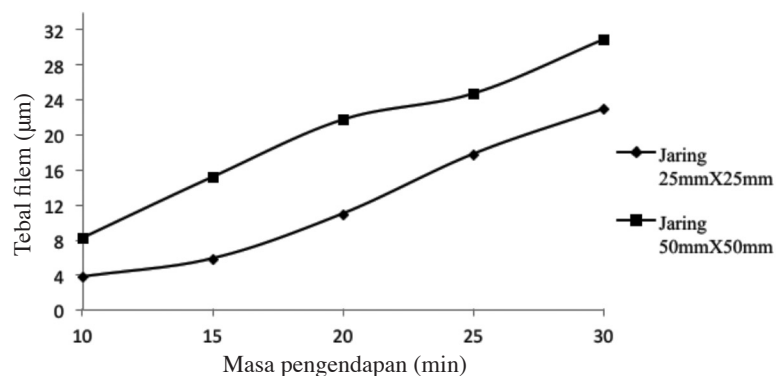
penggunaan elektrod lawan kecil. Bagi penggunaan elektrod lawan besar, masa yang diperlukan ialah 15 dan 20 min. Rajah 4 menunjukkan perbezaan ketebalan filem LSCF-SDC karbonat pada masa 20 min pada saiz elektrod lawan yang berbeza dengan skala pembesaran 2 Kx. Rajah 4(a) dan 4(b) menunjukkan ketebalan filem yang terhasil adalah antara 10.74 – 11.16 μm dan 20.86 – 22.60 μm masing-masing melalui penggunaan elektrod lawan bersaiz kecil dan besar. Ketebalan yang diperoleh melalui proses EPD ini berada dalam julat nilai yang diperoleh oleh penyelidik terdahulu iaitu antara 10 – 100 μm (Asamoto et al. 2008; Besra et al. 2007; Bhosale et al. 2009).

KESAN MASA PENGENDAPAN DAN SAIZ ELEKTROD LAWAN TERHADAP BERAT FILEM LSCF-SDC KARBONAT

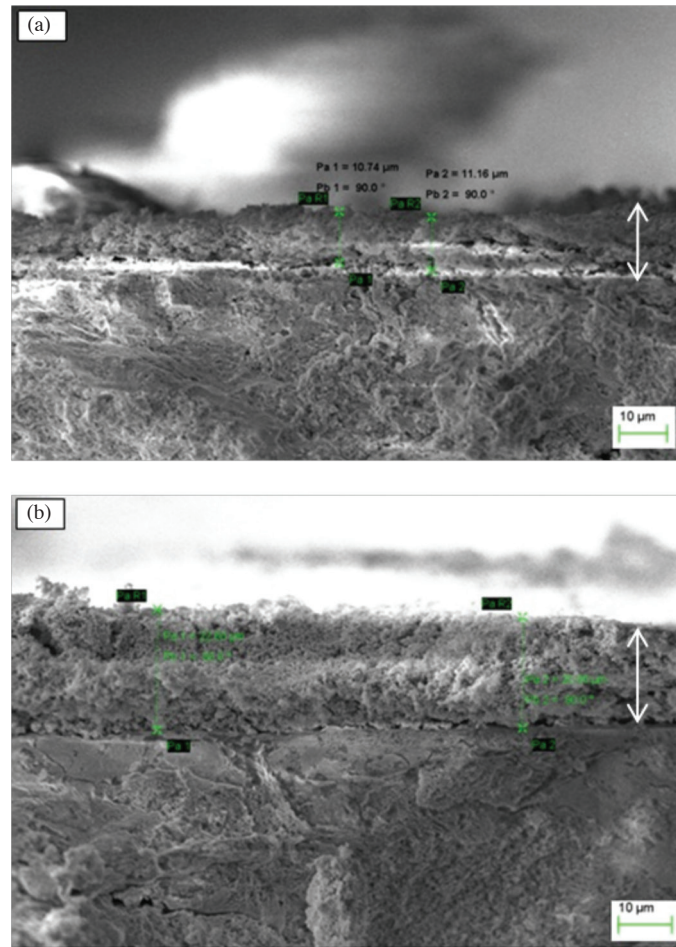
Berdasarkan Rajah 5, berat filem meningkat apabila masa pengendapan yang lebih panjang digunakan bagi kedua-dua saiz elektrod lawan. Memandangkan tujuan kajian adalah untuk melihat kebolehlaksanaan kaedah EPD untuk membentuk filem katod komposit LSCF-SDC karbonat, masa pengendapan yang digunakan adalah sehingga 30



RAJAH 2. Keupayaan zeta bagi serbuk LSCF-SDC karbonat, 10 g/L di dalam ampaian akueus-organik disediakan dengan nisbah campuran 1 : 1 (b/b)



RAJAH 3. Hubungan di antara ketebalan filem dengan masa pengendapan EPD



RAJAH 4. Tebal filem LSCF menggunakan elektrod lawan bersaiz
(a) $25 \times 25 \text{ mm}^2$ (b) $50 \times 50 \text{ mm}^2$

min. Tempoh 30 min ini sudah memadai memandangkan kebanyakan hasil kerja pengkaji terdahulu menggunakan masa pengendapan kurang dari tempoh ini (Asamoto et al. 2008; Besra et al. 2007; Bhosale et al. 2009). Berat filem yang diperoleh didapati berkadar terus dengan pertambahan masa pengendapan. Keputusan uji kaji ini menunjukkan hubungan yang sama dengan kajian yang dilakukan oleh Santillan et al. (2009). Hal ini kerana, secara teori bilangan zarah yang termendap pada substrat adalah berkadar terus dengan masa pengendapan sehingga proses pengendapan mencapai satu had. Kaitan antara berat zarah termendap dengan masa pengendapan dilihat melalui Teori Hamaker berikut;

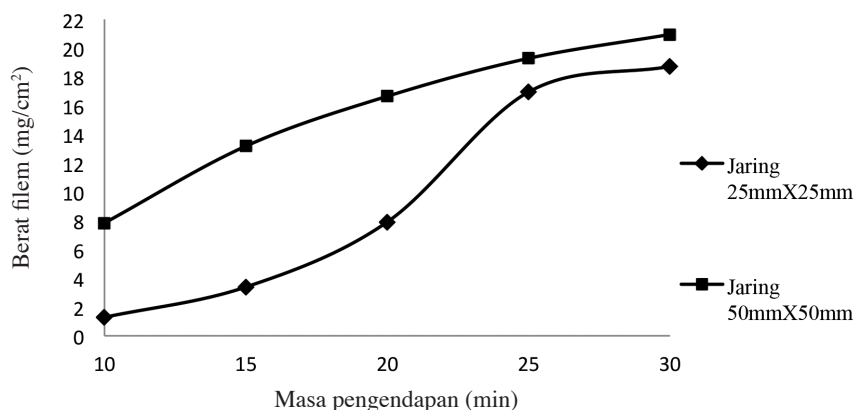
$$\text{Berat mendapan, } m = C_s \mu S E t \text{ (g)}, \quad (1)$$

dengan C_s ialah kepekatan ampaian, gcm^{-3} , μ ialah keboleherakan elektroforetik, $\text{cm}^2\text{s}^{-1}\text{V}^{-1}$, S ialah luas pengendapan, cm^2 , E ialah medan eletrik, Vcm^{-1} dan t ialah masa pengendapan, s .

Pengaruh saiz jaring elektrod lawan terhadap berat filem dapat dilihat menerusi Rajah 5. Berdasarkan Rajah 5, keputusan menunjukkan penggunaan jaring elektrod lawan yang besar dapat meningkatkan berat filem yang

termendap dengan lebih cepat. Ini kerana medan elektrik tinggi apabila saiz jaring elektrod lawan yang digunakan adalah besar (Besra et al. 2010).

Kajian terhampir yang berkaitan dengan parameter EPD oleh pengkaji terdahulu (Hamimah et al. 2012) menunjukkan berat filem LSCF yang diperoleh sekitar 0.8 mgcm^{-2} . Dengan menjadikan kajian tersebut sebagai rujukan serta melakukan beberapa perubahan terhadap parameter kajian, berat filem LSCF-SDC karbonat yang diperoleh dengan masa pengendapan 10 min adalah sekitar 8 mgcm^{-2} dengan menggunakan saiz elektrod lawan yang besar ($50 \times 50 \text{ mm}^2$). Jadual 1 menunjukkan perbandingan hasil kajian ini dengan keputusan diperoleh pengkaji terdahulu (Hamimah et al. 2012). Pertambahan berat filem juga menunjukkan peningkatan dalam ketebalan filem katod yang dihasilkan. Filem katod yang nipis akan meningkatkan pengaktifan pengutuban sel dan menyebabkan kekonduksian sel menurun (Virkar et al. 2000). Oleh itu, filem LSCF-SDC karbonat yang lebih tebal dijangka akan memberikan nilai kekonduksian yang lebih baik. Kajian seterusnya akan menumpukan kepada prestasi elektrokimia katod LSCF-SDC karbonat yang telah dihasilkan dan hubungkaitnya dengan mikrostruktur filem yang diperoleh.



RAJAH 5. Hubungan antara berat filem dengan masa pengendapan EPD

JADUAL 1. Perbandingan hasil kajian dengan kajian terdahulu

Perincian Kajian	Kajian semasa	(Hamimah et al. 2012)
Jenis pelarut	Campuran akueus-organik	Pelarut akueus
Serbuk katod	LSCF-SDC karbonat	LSCF
Agen penyerak	PDADMAC	-
Bahan tambah	-	Kanji
pH ampaian:	5	3
Voltan kenaikan (V)	20	5
Berat filem katod selepas 10 min pengendapan (mgcm ⁻²)	~ 8.0	0.9 – 1.0

Berdasarkan ketebalan filem yang diperoleh, penghasilan katod LSCF-SDC karbonat melalui kaedah EPD terbukti berjaya digunakan dan berpotensi untuk diperkembangkan lagi. Oleh itu, secara keseluruhannya didapati kawalan dan perubahan ke atas parameter ini memberi kesan yang jelas terhadap ketebalan filem yang diperoleh.

KESIMPULAN

Kajian ini mendapati terdapat pelbagai parameter yang mempengaruhi ketebalan filem katod LSCF-SDC karbonat yang dihasilkan melalui kaedah EPD seperti masa pengendapan dan saiz jaring elektrod lawan. Bagi uji kaji ini, masa pengendapan yang diperhatikan berkadar terus dengan berat dan ketebalan filem. Hasil kajian juga menunjukkan saiz jaring elektrod lawan yang lebih besar menyebabkan masa pengendapan zarah LSCF-SDC karbonat pada substrat SDC lebih singkat. Penggunaan jaring elektrod lawan yang lebih besar (50 × 50 mm²) hanya memerlukan masa pengendapan 11 hingga 19 min bagi menghasilkan filem berketebalan 8-31 μm. Ketebalan yang diperoleh dengan menggunakan saiz elektrod lawan yang besar ini juga berada dalam julat nilai yang diperoleh oleh pengkaji terdahulu yang menggunakan kaedah EPD (10 – 100 μm). Keputusan kajian ini membuktikan kebolehlaksanaan kaedah EPD bagi penghasilan filem katod LSCF-SDC karbonat.

PENGHARGAAN

Penulis merakamkan penghargaan kepada Universiti Kebangsaan Malaysia dan Kementerian Pelajaran Malaysia atas tajaan projek ini melalui geran penyelidikan UKM-RF-07-FRGS0260-2010 dan OUP-2012-075. Penulis juga merakamkan penghargaan kepada Mohd Hanafi Ibrahim atas bantuan teknikal yang telah diberikan.

RUJUKAN

- Asamoto, M., Miyake, S., Itagaki, Y., Sadaoka, Y. & Yahiro, H. 2008. Electrocatalytic performances of Ni/SDC anodes fabricated with EPD techniques for direct oxidation of CH₄ in solid oxide fuel cells. *Catalysis Today* 139: 77-81.
- Besra, L., Tetsuo, U.T., Suzuki, T.S. & Sakkab, Y. 2010. Experimental verification of pH localization mechanism of particle consolidation at the electrode/solution interface and its application to pulsed DC electrophoretic deposition (EPD). *Journal of the European Ceramic Society* 30(5): 1187-1193.
- Besra, L., Compson, C. & Liu, M. 2007. Electrophoretic deposition on non-conducting substrates: The case of YSZ film on NiO-YSZ composite substrates for solid oxide fuel cell applications. *Journal of Power Sources* 173: 130-136.
- Besra, L. & Liu, M. 2006. A review on fundamentals and applications of electrophoretic deposition (EPD). *Progress in Materials Science* 52: 1- 61.
- Bhosale, A.G., Kadam, M.B., Joshi, R., Pawar, S.S. & Pawar, S.H. 2009. Studies on electrophoretic deposition of nanocrystalline SDC electrolyte films. *Journal of Alloys and Compounds* 484: 795-800.

- Chen, F. & Liu, M. 2001. Preparation of Ytria-stabilized zirconia (YSZ) films on $\text{La}_{0.85}\text{Sr}_{0.15}\text{MnO}_3$ (LSM) and LSM-YSZ substrates using an electrophoretic deposition (EPD) process. *Journal of the European Ceramic Society* 21(2): 127-134.
- De Riccardis, M.F., Carbone, D. & Rizzo, A. 2006. A novel method for preparing and characterizing alcoholic EPD suspensions. *Journal of Colloid and Interface Science* 307: 109-115.
- Dedikarni Panuh, Andanastuti Muchtar, Norhamidi Muhamad & Wan Ramli Wan Daud. 2012. Kesan rawatan haba terhadap mikrostruktur katod berliang $\text{Ag}_2\text{O}_3\text{-Bi}_2\text{O}_3$ di atas substratum keluli tahan karat yang disediakan dengan kaedah pengecutan sluri. *Sains Malaysiana* 41(1): 121-127.
- Fergus, J.W., Hui, R., Li, X., Wilkinson, D.P. & Zhang, J. 2009. *Solid Oxide Fuel Cells Materials Properties and Performance*. New York: CRC Press.
- Greenwood, R. 2003. Review of the measurement of zeta potentials in concentrated aqueous suspensions using electroacoustics. *Advances in Colloid and Interface Science* 106: 55-81.
- Hamimah Abd. Rahman, Andanastuti Muchtar, Syaharizan Haron, Norhamidi Muhamad & Huda Abdullah. 2012. Kesan parameter pemrosesan dan bahan tambah terhadap pengendapan elektroforetik filem LSCF6428. *Sains Malaysiana* 41(2): 237-244.
- Hamimah Abd. Rahman, Andanastuti, M., Norhamidi, M. & Huda, A. 2011a. LSCF layer on SDC substrate by aqueous electrophoretic deposition. In *Proceeding of the 3rd International Conference on Fuel Cell & Hydrogen Technology (ICFCHT)*, 22-23 Nov 2011, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Hamimah Abd. Rahman, Andanastuti Muchtar, Norhamidi Muhamad & Huda Abdullah. 2011b. Fabrication and characterisation of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-d}$ -SDC composite cathode. *Key Engineering Materials* 471-472: 268-273.
- Lee, S., Song, H.S., Hyun, S.H., Kim, J. & Moon, J. 2010. LSCF-SDC core-shell high-performance durable composite cathode. *Journal of Power Sources* 195(1): 118-123.
- Ma, Q., Ma, J., Sa, Z., Yan, R., Gao, J. & Meng, G. 2006. A high-performance ammonia-fueled SOFC based on a YSZ thin-film electrolyte. *Journal of Power Sources* 164: 86-89.
- Minh, N.Q. 2004. Solid oxide fuel cells technology features and application. *Solid State Ionics* 174: 271-277.
- Mishra, M., Bhattacharjee, S., Besra, L., Sharma, H.S., Uchikoshi, T. & Sakka, Y. 2010. Effect of pH localization on microstructure evolution of deposits during aqueous electrophoretic deposition (EPD). *Journal of the European Ceramic Society* 30: 2467-2473.
- Noorashrina A. Hamid, Andanastuti Muchtar, Wan Ramli Wan Daud & Norhamidi Muhamad. 2009. Pencirian mikrostruktur katod La-Sr-Co-Fe-O bagi sel fuel oksida pepejal bersuhu sederhana (IT-SOFC). *Sains Malaysiana* 38(6): 857-861.
- Santillán, M.J., Caneiro, A., Quaranta, N. & Boccaccini, A.R. 2009. Electrophoretic deposition of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{3-d}$ cathodes on $\text{Ce}_{0.9}\text{Gd}_{0.1}\text{O}_{1.95}$ substrates for intermediate temperature solid oxide fuel cell (It-SoFc). *Journal of the European Ceramic Society* 29(6): 1125-1132.
- Song, J.H., Park, S.I., Lee, J.H. & Kim, H.S. 2010. Fabrication characteristics of an anode-supported thin-film electrolyte fabricated by the tape casting method for IT-SOFC. *Journal of Materials Processing Technology* 198: 414-418.
- Sutin Kuharuangrong. 2004. Effects of Ni on the electrical conductivity and microstructure of $\text{La}_{0.82}\text{Sr}_{0.16}\text{MnO}_3$. *Ceramics International* 30: 273-277.
- Virkar, A.V., Chen, J., Cameron, W.T. & Kim, J.W. 2000. The role of electrode microstructure on activation and concentration polarizations in solid oxide fuel cells. *Solid State Ionics* 131: 189-198.
- Xia, C., Chen, F. & Liu, M. 2001. Reduced-temperature solid oxide fuel cells fabricated by screen printing. *Electrochemical and Solid-State Letters* 4: A52-A54.

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

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: muchtar@eng.ukm.my

Diserahkan: 29 Oktober 2012

Diterima: 15 Julai 2013