

## [JKSA] Submission Acknowledgement Eksternal Kotak Masuk x



**Adi Darmawan** <adidarmawan@live.undip.ac.id>  
kepada saya ▾

9 Agu 2022, 07:51 ☆ ↶ ⋮

🌐 Inggris ▾ > Indonesia ▾ [Terjemahkan pesan](#)

Nonaktifkan untuk: Inggris x

Dear Ph.D adi Subardi

Thank you for submitting the manuscript, "Effect of Ce<sub>0.8</sub>Sm<sub>0.2</sub>O<sub>1.9</sub> Infiltration on the Performance of Double Perovskite LaBa<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>Co<sub>2</sub>O<sub>5+δ</sub> as IT-SOFC" to Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi. With the online journal management system that we are using, you will be able to track its progress through the editorial process by logging in to the journal web site:

Manuscript URL: <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/ksa/author/submission/48173>

Username: subardi

Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi (JKSA) follows the Open Access model. The publication cost should be covered by the author's institution or research funds. These Open Access charges replace subscription charges and allow the Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi (JKSA) to make the valuable published materials freely accessible to all interested online visitors, especially the researchers and scholars.

All authors are requested to submit a Copyright Transfer Agreement after the manuscript is confirmed to be accepted for publication. Copyright transfer agreement form can be downloaded from the Copyright notice section under the Submission tab.

Please don't hesitate to ask any question you have. You can contact me or send an email to [jksa@live.undip.ac.id](mailto:jksa@live.undip.ac.id). Your emails will be respond in a very short time.

Thank you for considering this journal as a venue for your work.

Regards

Adi Darmawan  
Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi

---

Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi  
<http://ejournal.undip.ac.id/index.php/ksa>

## [JKSA] Editor Decision - your submission needs to be revised Eksternal Kotak Masuk x



**Dr. Yayuk Astuti** <yayuk.astuti@live.undip.ac.id>  
kepada saya ▾

Jum, 11 Nov 2022, 19:07 ☆ ↶ ⋮

🌐 Inggris ▾ > Indonesia ▾ [Terjemahkan pesan](#)

Nonaktifkan untuk: Inggris x

Dear Ph.D adi Subardi

We have reached a decision regarding your submission to Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi, "Effect of Ce<sub>0.8</sub>Sm<sub>0.2</sub>O<sub>1.9</sub> Infiltration on the Performance of Double Perovskite LaBa<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>Co<sub>2</sub>O<sub>5+δ</sub> as IT-SOFC".

Our decision is that you need to revise this manuscript according to the feedback from the review.

**\*How to prepare a revised manuscript.\***

- (1) Carefully read reviewer(s)' comments and make appropriate revisions.
- (2) Revised parts should be highlighted by changing the background color or the color of the words. The revised manuscript is in .docx format. Make sure that the revised manuscripts are cleared from the reviewer comments (none of the reviewers' comments are in the revised manuscript)

**\* How to prepare a response letter (a reply letter to the reviewer's question)\***

- (1) Copy all the comments given by the reviewers.

(2) Revised parts should be highlighted by changing the background color or the color of the words. The revised manuscript is in .docx format. Make sure that the revised manuscripts are cleared from the reviewer comments (none of the reviewers' comments are in the revised manuscript)

\* How to prepare a response letter (a reply letter to the reviewer's question)\*

(1) Copy all the comments given by the reviewers.

(2) Respond each comment, question, or suggestion one by one. The answers to the reviewer questions is in docx format. An example of the answers to the reviewer questions is attached.

(3) Indicate changes you make in the manuscript.

\* How to upload your revised manuscript. \*

(1) The revised manuscript and the response letter should be put together by compressing it into a zip file

(2) Login JKSA through your OJS account

(3) Find your active manuscript listed under "review" and click it

(4) Click "In Review" listed under "Status"

(5) Upload your file through "Upload Author Version" under "Editor Decision"

Please revise this manuscript no more than 3 (three) weeks from now. If within a month you do not revise this manuscript, then your manuscript will be treat as a new submission.

Regards

Dr. Yayuk Astuti

Chemistry Department, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University

Jl. Prof. Soedarto, SH., Tembalang, Semarang

[yayuk.astuti@live.undip.ac.id](mailto:yayuk.astuti@live.undip.ac.id)

Editor comment:

Please cite articles published by JKSA

Reviewer A:

- The title clearly describes the article
- The abstract is self-explanatory. It is necessary to include XRD and SEM results. Communicate the research's implications
- There is a method section that needs to be explained further. Please check the notes on the uploaded file.
- In the Results and Discussion section, the author should refer to previous research. There are a few points that need to be clarified. Please check the notes on the uploaded file.

Reviewer B:

Penulis meneliti tentang Pengaruh Infiltrasi Ce<sub>0.8</sub>Sm<sub>0.2</sub>O<sub>1.9</sub> Terhadap Kinerja Double Perovskite LaBa<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>Co<sub>2</sub>O<sub>5+δ</sub> Sebagai Katoda IT-SOFC.

Secara keseluruhan, hasil penelitian sangat menarik dan akan memberikan kontribusi bagi pengetahuan serta pengembangan tentang kinerja material katoda untuk IT-SOFCs. Beberapa hal yang perlu diklarifikasi dan ditambahkan, untuk menambah kesempurnaan hasil investigasi ini adalah sebagai berikut.

- Pada metode penelitian, poin fabrikasi spesimen, "Setelah katoda disablon pada elektrolit SDC kemudian sampel disinter pada 1000 oC selama 4 jam". Apa maksud kalimat ini bahwa material katoda yang dilapisi SDC, atau katoda melapisi SDC?
- Berdasarkan hasil XRD, struktur kristal yang terdeteksi sangat baik ditunjukkan dengan tingginya intensitas dan ketajaman kurva yang terbentuk. Sayangnya nilai ketajaman Full Wide Half Maximum (FWHM) dan space group struktur yang terbentuk tidak ditampilkan dalam draft.
- Pada bab HASIL DAN PEMBAHASAN, penulis menampilkan data nilai rapat arus yang diperoleh dan juga ditampilkan pada Tabel 1, sayangnya peralatan dan metode pengujiannya tidak disampaikan di dalam sub bab PENGUKURAN
- Nilai rapat arus katoda LBSC meningkat dari 11,13 Ω.cm<sup>2</sup> pada 600 oC ke 154,1 Ω.cm<sup>2</sup> pada 800 oC. Mungkin maksud penulis, satuannya dari Current density (j<sub>o</sub>) adalah (mA.cm<sup>-2</sup>)
- Untuk Gambar 5. Penampang sel simetris yang diamati menggunakan SEM, akan lebih baik jika skala satuan pada gambar diberikan dengan garis ukuran untuk membaca area SEM dan gambar di dalamnya. Penjelasan struktur dan bagian-bagiannya secara detail akan menggambarkan kesuksesnya dalam mendesain sistem ini.

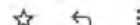
---

Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi  
<http://ejournal.undip.ac.id/index.php/ksa>



**Subardi STNAS** <subardi@sttnas.ac.id>  
kepada Yayuk ▾

13 Nov 2022, 18.53



Dear Dr Yayuk Astuti

Thank you for the very valuable notification. We will revise the article as suggested and resubmit.

Best regards,

Adi Subardi  
Mechanical Eng. Department  
Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

---

[JKSA] [ID-48173] - Editor Decision - your submission is accepted

Eksternal

Kotak Masuk x



**Dr. Yayuk Astuti** <yayuk.astuti@live.undip.ac.id>  
kepada saya ▾

Sel, 13 Des 2022, 11.27



🌐 Inggris ▾ > Indonesia ▾ [Terjemahkan pesan](#)

[Nonaktifkan untuk: Inggris](#) x

Dear Ph.D adi Subardi

We have reached a decision regarding your submission to Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi, "Effect of Ce0.8Sm0.2O1.9 Infiltration on the Performance of Double Perovskite LaBa0,5Sr0,5Co2O5+δ as IT-SOFC".

Our decision is to accept your submission. Congratulations

Please send the proof of remittance by email to the editorial office of Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi (email: [jksa@live.undip.ac.id](mailto:jksa@live.undip.ac.id)). JKSA waives the article processing charge for non-Indonesian author

After payment, in few days you will receipt email for the further process, i.e. copy-editing, layout and proofreading.

Once your manuscript is moved to publishing, our production editor will keep you informed of your article's progress in the production process. You may also receive a proof of your manuscript for final review.

Thank you for your valuable contribution to the journal.

Regards

Dr. Yayuk Astuti  
Chemistry Department, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University  
Jl. Prof. Soedarto, SH., Tembalang, Semarang  
[yayuk\\_astuti@live.undip.ac.id](mailto:yayuk_astuti@live.undip.ac.id)

---

Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi  
<http://ejournal.undip.ac.id/index.php/ksa>

Hasil review :

Abstract.

Abstrak dalam Bahasa Inggris yang sulit dimengerti. Harus ditulis ulang dan dibantu oleh orang yang berpengalaman dalam menulis dalam Bahasa Inggris

**Reply:** Terima kasih sarannya, kami berusaha memperbaiki abstrak

Pada hasil dan diskusi :

1. Kurang diskusi mendalam pada analisis XRD. Perlu ditambahkan analisis tentang identifikasi fasa dan analisis kuantitatif tentang parameter kisi LBSC dengan melakukan pencocokan data terukur dan data terhitung.

**Reply:** Termakasih sarannya, diskusi lebih lanjut tentang analisis XRD telah ditambahkan.

Pola XRD LBSC sebagai struktur perovskit ganda tanpa puncak karena pengotor/ketidakhomogenitas [24]. Hal ini menunjukkan fabrikasi bubuk katoda LBSC berhasil baik. Fitting pola difraksi sesuai dengan basis data ICSD 98-009-0492. Analisis Rietveld menggunakan aplikasi General Structure Analysis System (GSAS). Berdasarkan data *refinement*, diketahui bahwa pola difraksi sampel LBSC merupakan struktur tetragonal (*space group*: P4/mmm) dengan parameter kisi  $a = 3.86253 \text{ \AA}$ ,  $c = 7.73421 \text{ \AA}$ , dan  $V = 115.338 \text{ \AA}^3$ . Perbesaran tertinggi puncak intensitas (102), pergeseran puncak intensitas tertinggi (102) menuju sudut yang lebih rendah menunjukkan ekspansi volume sel satuan volume sel satuan.

2. Pada metode disebutkan sampel disinter pada  $T = 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ . Tapi di hasil dan diskusi, disebutkan bahwa temperatur sintering =  $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Manakah yang benar ?

**Reply:** Sinterring pada  $1000^\circ\text{C}$  dan  $1100^\circ\text{C}$  keduanya dilakukan pada sampel yang berbeda yaitu [1] sinterring  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  dilakukan pada sampel *half cell* atau *half cell*. Sinterring  $1000^\circ\text{C}$  dilakukan setelah katoda disablon pada cakram elektrolit SDC, [2] Sinterring pada suhu  $1100^\circ\text{C}$  dilakukan pada serbuk katoda LBSC sebelum pengujian XRD dilakukan.

3. Baris ke 3-4 pada sub bab hasil dan diskusi : “Nyaris tidak ada . . . . karena kotoran. . .”, bisa diganti penjelasan dan penggunaan kalimatnya yang baku !.

**Reply:** Terimakasih koreksi & sarannya, telah ditulis kembali sesuai penggunaan kalimat yang baku.

Nyaris tidak ditandai munculnya puncak karena kotoran yang tercampur pada serbuk katoda LBSC, Pola XRD LBSC menunjukkan struktur perovskit tanpa puncak karena pengotor/ketidakhomogenitas.

4. Paragraf 2 hasil dan diskusi : apakah ada percobaan yang telah dilakukan penulis yang relevan atau dapat menyatakan jika terjadi pelepasan atom oksigen? Jelaskan!

**Reply:** Terima kasih konfirmasi. Pernyataan tersebut “pelepasan atom oksigen” didasarkan atas referensi yang telah dilaporkan sebelumnya. Sumber referensi sebagai berikut:

1. Fang Wang, Qingjun Zhou, Tianmin He, Guodong Li, Hong Ding, Novel  $\text{SrCo}_{1-\gamma}\text{NbyO}_{3-\delta}$  cathodes for intermediate-temperature solid oxide fuel cells, *Journal of Power Sources*, 195, (2010), 3772–3778.

2. Xiangnan Li, Xuening Jiang, Hongxia Xu, Qiuli Xu, Yuchao Shi, Qingyu Zhang, Lei Jiang, Scandium-doped  $\text{PrBaCo}_{2-x}\text{Sc}_x\text{O}_{6-\delta}$  oxides as cathode material for intermediate-temperature solid oxide fuel cells, *International Journal of Hydrogen Energy*, 38, (2013), 12035-12042.
  3. Oxygen transportation, electrical conductivity and electrochemical properties of layered perovskite  $\text{SmBa}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_2\text{O}_{5+\delta}$ , *International Journal of Hydrogen Energy*, 42, (2017), 5284-5294.
5. Paragraf 3 : menggunakan kata “mungkin”. Penulis tidak yakin dengan argumennya, berikan penjelasan yang diyakini oleh authors.

**Reply:** Terimakasih koreksinya, telah ditulis ulang sesuai yang disarankan.

Sifat konduktivitas metalik LBSC mungkin terkait dengan beberapa alasan berikut [25-27]: (1) pita energi *overlap* antara Co-3d dan O-2p; (2) adanya ion  $\text{Co}^{4+}$  dari disproporsi muatan  $\text{Co}^{3+}$  yang dihasilkan secara termal; dan (3) hilangnya oksigen dari kisi pada suhu yang lebih tinggi.

6. Diskusi tentang konduktivitas hanya membaca data, tidak ada penjelasan yang mendalam tentang mekanisme konduktivitas.

**Reply:** Secara umum author telah menjelaskan mekanisme konduktivitas sample katoda LBSC baik terkait dengan cacat kisi dan lainnya. Kalimat selengkapnya sebagai berikut:

Pengurangan konduktivitas terjadi sejak awal pemanasan pada suhu  $300^\circ\text{C}$  seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, hal ini terjadi karena cacat kisi ikatan Co–O–Co, menghasilkan pelepasan atom oksigen dari kisi dan reduksi  $\text{Co}^{4+}$  menjadi  $\text{Co}^{3+}$  atau  $\text{Co}^{3+}$  menjadi  $\text{Co}^{2+}$ . Nilai konduktivitas katoda LBSC berada pada kisaran  $165 \text{ S.cm}^{-1}$ – $100 \text{ S.cm}^{-1}$  dan memenuhi persyaratan sebagai bahan katoda SOFC [24]. Sifat konduktivitas metalik LBSC terkait dengan beberapa alasan berikut [25-27]: (1) pita energi *overlap* antara Co-3d dan O-2p; (2) adanya ion  $\text{Co}^{4+}$  dari disproporsi muatan  $\text{Co}^{3+}$  yang dihasilkan secara termal; dan (3) hilangnya oksigen dari kisi pada suhu yang lebih tinggi. Pada  $p(\text{O}_2) = 0,0032 \text{ atm}$ , konduktivitas listrik menurun dengan penurunan  $p(\text{O}_2)$ , *trend*-nya mirip pada pengujian di bawah tekanan atmosfer  $p(\text{O}_2) = 0,03 \text{ atm}$ .

7. Sulit dimengerti bagaimana data yang berbalikan, pada gambar 2 konduktivitas pada temperature yang lebih tinggi lebih rendah, sedangkan pada gambar 3 menunjukkan impedance Z yang lebih kecil (konduktif) pada temperatur tinggi dibandingkan dengan temperature yang lebih rendah?

**Reply:** Terkait hal ini dapat dikemukakan hal-hal sebagai berikut.

Terkait nilai konduktivitas listrik sampel katoda terhadap nilai Z yang tidak linier [Nilai Z justru turun pada saat suhu meningkat hingga  $800^\circ\text{C}$ ]. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut, kinerja sel SOFC variabel cukup kompleks tidak hanya dipengaruhi oleh faktor nilai konduktivitas katoda saja namun ada beberapa faktor lainnya yang mempengaruhi kinerja SOFC. Faktor-faktor tersebut adalah preparasi yang berbeda, porositas, tingkat koneksi yang kuat antar lapisan & homogenitas partikel.

8. Penulis menyatakan jika SDC berukuran nano, tidak ada keterangan lebih lanjut yang membuktikan bahwa SDC berukuran nano dan berapa tepatnya ukuran nano nya.

**Reply:** Terima kasih konfirmasi, keterangan lebih lanjut telah ditambahkan.

Seperti yang telah dilaporkan oleh tim kami sebelumnya, infiltrasi SDC terhadap katoda  $\text{SmBa}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_2\text{O}_{5+\delta}$  menunjukkan butiran SDC kisaran 10–35 nm. Butiran SDC secara merata terdistribusi secara homogen dipermukaan katoda berpori menghasilkan interkoneksi yang baik dan meningkatkan sifat elektrokimia. Kondisi ini menunjukkan bahwa partikel berukuran nano SDC aktif meningkatkan reaksi elektrokimia antar lapisan elektroda-elektrolit dan adsorpsi-desorpsi difusi oksigen antarlapisan permukaan katoda-gas secara bersamaan [21].

9. Keterangan grafik menggunakan bahasa Inggris apa maksudnya?.

**Reply:** Terimakasih konfirmasinya. Kami kesulitan menggunakan padanan dalam bahasa Indonesian sehingga beberapa keterangan grafik masih menggunakan bahasa Inggris yang umumnya/lazim digunakan dalam paper internasional tentang SOFC.

10. Diskusi pada bagian energi aktivasi dan rapat arus hanya membaca data, kurang penjelasan mendalam mengenai kedua hal tersebut.

**Reply:** Terima kasih saran yang sangat berharga, terkait aktivasi energi telah ditambahkan sebagai berikut.

Dari kemiringan plot Arrhenius, energi aktivasi keseluruhan ( $E_a$ ) untuk reaksi reduksi oksigen (*oxygen reduction reaction, ORR*) dihitung dengan persamaan Arrhenius berikut.

$$\ln i_o = \ln K - \frac{E_a}{RT}$$

Keterangan: K merupakan konstanta pra-eksponensial, yang ditentukan dari perpotongan y, dan  $E_a$  yaitu energi aktivasi reaksi.  $E_a$  untuk ORR berhubungan dengan teknik preparasi dan komposisi katoda yang berbeda serta struktur katoda.

11. Tidak ada penjelasan SEM!

**Reply:** Terimakasih sarannya, telah ditambahkan penjelasan SEM.

Struktur mikro katoda berhubungan kuat dengan elektron dan transportasi oksigen. Sifat-sifat tersebut berdampak terhadap kinerja sel bahan bakar padat (SOFC) antara lain: kinetika reaksi, *charge transport*, dan *mass transport preprocess* [29]. Secara umum, lapisan katoda dalam komponen SOFC disyaratkan memiliki butiran yang homogen, *dense* dan berpori-pori tinggi (*porous*). Katoda dengan porositas tinggi akan memfasilitasi transportasi oksigen ke situs *three-phase boundary (TPB)* aktif. TPB adalah area antarmuka antara elektroda, elektrolit dan gas bahan bakar di mana reaksi keseluruhan terjadi. SDC mempunyai konduktivitas ionik tinggi yang memperluas zona reaksi aktif sehingga menurunkan polarisasi resistansi (*resistance polarization, RP*) dan meningkatkan kinerja SOFC [30]. Struktur mikro dari penampang sel simetris LBSC|SDC|LBSC seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

12. Keterkaitan antar karakterisasi material tidak ada, perlu didiskusikan keterkaitan antara satu karakteristik dengan yanglainnya.

**Reply:** Terkait hal ini dapat dikemukakan hal-hal sebagai berikut.

Secara umum riset ini bertujuan untuk mengkonfirmasi material oksida LBSC apakah memenuhi persyaratan sebagai katoda SOFC. Pengujian konduktifitas listrik dilakukan untuk mengetahui apakah sampel LBSC memenuhi kriteria sebagai katoda SOFC yaitu dengan ketentuan nilai konduktifitasnya diatas 100 S/m. Sesuai data pengujian, oksida LBSC memenuhi persyaratan sebagai katoda SOFC karena nilai konduktivitasnya diatas 100 S/cm. Namun perlu pengujian yang lain untuk menyakinkan bahwa katoda LBSC memenuhi persyaratan melalui pengujian half cell atau sel simetris. Hasilnya menunjukkan kinerja sel simetris menggembirakan, nilai resistansi polarisasi ( $R_p$ ) sebesar  $0,05 \Omega \cdot \text{cm}^2$  pada suhu  $800^\circ\text{C}$  (batasan SOFC berkinerja baik nilai  $R_p < 0.15 \Omega \cdot \text{cm}^2$ ). Nilai  $R_p$  yang relatif rendah ini berhubungan kuat dengan struktur micro katoda LBSC yang *dense* dan porositasnya tinggi

[Gambar SEM] juga merupakan salah satu persyaratan SOFC. Terkait nilai konduktifitas listrik sampel katoda terhadap nilai Z yang tidak linier [Nilai Z justru turun pada saat suhu meningkat hingga 800oC]. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut, kinerja sel SOFC variabel cukup kompleks tidak hanya dipengaruhi oleh faktor nilai konduktivitas katoda saja namun ada beberapa faktor lainnya yang mempengaruhi kinerja SOFC. Faktor-faktor tersebut adalah preparasi yang berbeda, porositas, tingkat koneksi yang kuat antar lapisan & homogenitas partikel.

# Pengaruh Infiltrasi $Ce_{0.8}Sm_{0.2}O_{1.9}$ Terhadap Kinerja Double Perovskite $LaBa_{0.5}Sr_{0.5}Co_2O_{5+\delta}$ Sebagai Katoda IT-SOFC

Adi Subardi

Prodi Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta (ITNY),

DIY 55281, Indonesia

Corresponding author: subardi@itny.ac.id

## Abstract

*Modification of the sample surface by infiltration technique using  $Ce_{0.8}Sm_{0.2}O_{1.9}$  (SDC) electrolyte has been carried out to increase the catalytic activity of the  $LaBa_{0.5}Sr_{0.5}Co_2O_{5+\delta}$  (LBSC) cathode. The cathode powder structure was evaluated using X-ray diffraction (XRD) performed at room temperature, and the microstructure of the LBSC cathode was analyzed using Scanning Electron Microscopy (SEM). The electrical conductivity of the LBSC cathode was tested using the four-probe DC method. Symmetrical cells were tested using a potentiostat Voltalab PGZ 301 and a digital source meter Keithley 2420. LBSC powder was detected as a tetragonal structure (space group:  $P4/mmm$ ) with lattice parameters  $a = 3.86253 \text{ \AA}$ ,  $c = 7.73421 \text{ \AA}$ , and  $V = 115.338 \text{ \AA}^3$ . From the SEM image, the LBSC cathode has homogeneous, dense, and highly porous grains. The electrical conductivity showed metallic behavior with values gradually decreasing from  $167 \text{ S.cm}^{-1}$  at  $300^\circ\text{C}$  to  $105 \text{ S.cm}^{-1}$  at  $800^\circ\text{C}$ . A significant increase in current density ( $i_o$ ) of 275 % occurred at a temperature of  $800^\circ\text{C}$  from  $154.10 \text{ mA.cm}^{-2}$  (pure LBSC) to  $577.86 \text{ mA.cm}^{-2}$  (LBSC+0.5M SDC). The activation energy value ( $E_a$ ) of symmetrical cells was determined using electrochemical impedance spectroscopy (EIS), low-field (LF,) and high-field (HF) techniques. The activation energy of the LBSC + 0.5 M SDC specimen was  $47.9 \text{ kJ mol}^{-1}$  or 79.4 % lower than the activation energy of the LBSC cathode specimen without infiltration at an atmospheric pressure of 0.03 atm. These results indicate that SDC infiltration of the LBSC cathode can reduce the activation energy of the significant. The cathode membrane adheres quite well to the electrolyte membrane, the cathode porosity varies in the range of  $1\text{--}4 \text{ \mu m}$  and the grain size is  $0.1\text{--}1.5 \text{ \mu m}$ .*

**Keywords:** IT-SOFC; Cathode; Infiltration; Electrochemical properties; Symmetrical cell

## Pendahuluan

Sel bahan bakar oksida padat suhu menengah atau intermediate temperature solid oxide fuel cell (IT-SOFC) memiliki keunggulan sebagai salah satu energi paling ramah lingkungan dan melakukan transformasi langsung bahan bakar menjadi energi listrik [1]. Penerapan SOFC terkendala oleh suhu kerja yang tinggi menyebabkan potensi degradasi komponen SOFC dan operasionalnya mahal. Disisi lain, suhu kerja SOFC yang lebih rendah menyebabkan oxygen reduction kinetics lamban dan terjadi over-potential yang tinggi pada katoda serta menurunkan aktivitas elektrokimia katoda secara dramatis [2],[3].

Upaya untuk menurunkan suhu kerja SOFC yang lebih rendah dapat mengurangi kendala antara lain mengurangi degradasi termal, memungkinkan penggunaan bahan interkoneksi logam berbiaya rendah, dan menekan reaksi antara komponen sel sehingga menurunkan biaya operasional SOFC. Umumnya, katoda menjadi faktor pembatas dalam mengidentifikasi kinerja sel secara keseluruhan. Oleh karena itu, elektroda baru SOFC dengan aktivitas elektrokatalitik yang tinggi harus dikembangkan [4],[5]. Struktur perovskit dan struktur variannya digunakan sebagai katoda berkinerja tinggi untuk IT-SOFC. Cobaltite dengan karakteristik elektrokimia yang tinggi telah dipelajari untuk diimplementasikan sebagai katoda di IT-SOFCs [6],[7].

Perovskite ganda sesuai untuk digunakan sebagai katoda di IT-SOFC yang membutuhkan kinetika surface exchange yang lebih besar dan laju difusi oksigen yang lebih



cepat dalam kisaran suhu sedang [8]. Oksigen dapat dengan cepat bermigrasi melintasi bidang LnO pada situs perovskit berorde  $\text{LnBaCo}_2\text{O}_{5+\delta}$  yang dievaluasi melalui metode difraksi neutron [9]. Dalam penelitian ini, perovskit ganda,  $\text{LaBa}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_2\text{O}_{5+\delta}$  (LBSC), dipilih sebagai bahan katoda. Meskipun karakterisasi LBSC seperti struktur kristal, *weight loss*, karakteristik ekspansi termal, struktur mikro, dan sifat elektrokimia telah diselidiki, riset ini dilakukan untuk menyelidiki lebih lanjut menggunakan teknik infiltrasi untuk meningkatkan kinerja SOFC. Resistansi elektrokimia komponen SOFC akan meningkat dengan penurunan operasi suhu, terutama katoda karena energi aktivasi yang relatif tinggi yang dibutuhkan untuk reaksi reduksi oksigen (ORR) [10]. Oleh karena itu, banyak peneliti melakukan upaya besar untuk mengurangi resistensi polarisasi ( $R_p$ ) katoda dengan harapan dapat meningkatkan kinerja katoda [11,12]. Salah satu pendekatan yang efektif dan ekonomis untuk modifikasi permukaan katoda melalui infiltrasi kimia basah dapat meningkatkan aktivitas katalitik [13]. Berdasarkan literatur [14–19], terjadi penurunan resistensi polarisasi katoda signifikan setelah dilakukan infiltrasi. Misalnya, *area specific resistance* (ASR) atau nilai  $R_p$  katoda  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$  (LSCF) adalah  $0,4 \Omega \cdot \text{cm}^2$ ,  $0,15 \Omega \cdot \text{cm}^2$ , dan  $0,064 \Omega \cdot \text{cm}^2$  pada  $700^\circ\text{C}$ ,  $750^\circ\text{C}$ , dan  $800^\circ\text{C}$ , setelah diinfiltrasi  $0,25 \text{ mol L}^{-1}$   $\text{Ce}_{0.8}\text{Sm}_{0.2}\text{O}_{1.9}$  (SDC) ke dalam LSCF berpori menurunkan nilai  $R_p$  menjadi  $0,17 \Omega \cdot \text{cm}^2$ ,  $0,074 \Omega \cdot \text{cm}^2$ , dan  $\Omega \cdot \text{cm}^2$  pada  $700^\circ\text{C}$ ,  $750^\circ\text{C}$ , dan  $800^\circ\text{C}$ . Elektroda LCF mengalami penurunan nilai  $R_p$  yang signifikan setelah diinfiltrasi SDC, hal ini menunjukkan peningkatan aktivitas elektrokimia [20].

Seperti dilaporkan sebelumnya [21], nilai  $R_p$  katoda  $\text{SmBa}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_2\text{O}_{5+\delta}$  (SBSC55) direduksi dari  $4,17 \Omega \cdot \text{cm}^2$  pada  $600^\circ\text{C}$  menjadi  $0,35 \Omega \cdot \text{cm}^2$  pada  $800^\circ\text{C}$ . Ketika nano elektrolit SDC diinfiltrasikan pada katoda SBSC55 murni, nilai  $R_p$  berkurang signifikan menunjukkan terjadinya kedua proses elektrokimia. Proses elektrokimia ini yaitu reaksi elektrokimia antar lapisan elektroda-elektrolit dan adsorpsi-desorpsi difusi oksigen antar lapisan permukaan katoda-gas secara bersamaan ditingkatkan oleh partikel berukuran nano SDC aktif. Ketika  $0,13 \text{ M}$  SDC diinfiltrasikan ke permukaan SBSC55 berpori, nilai  $R_p$  secara bertahap berkurang dari  $3,82 \Omega \cdot \text{cm}^2$  pada  $600^\circ\text{C}$  menjadi  $0,24 \Omega \cdot \text{cm}^2$  pada  $800^\circ\text{C}$ . Ketika jumlah dosis SDC ditingkatkan menjadi  $0,65 \text{ M}$ , nilai  $R_p$  berkurang menjadi  $1,28 \Omega \cdot \text{cm}^2$ ,  $0,32 \Omega \cdot \text{cm}^2$  dan  $0,11 \Omega \cdot \text{cm}^2$  pada  $600^\circ\text{C}$ ,  $700^\circ\text{C}$ , dan  $800^\circ\text{C}$ . Seperti yang telah dilaporkan oleh tim kami sebelumnya, infiltrasi SDC terhadap katoda  $\text{SmBa}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_2\text{O}_{5+\delta}$  menunjukkan butiran SDC kisaran  $10\text{--}35 \text{ nm}$ . Butiran SDC secara merata terdistribusi secara homogen dipermukaan katoda berpori menghasilkan interkoneksi yang baik dan meningkatkan sifat elektrokimia.

Dalam riset makalah ini berhasil dilakukan infiltrasi nanopartikel SDC ke dalam katoda LBSC berpori untuk meningkatkan sifat elektrokimia katoda. Struktur dan konduktivitas katoda LBSC juga diselidiki.

## Metode Penelitian

### Bahan Kimia

Sejumlah Stoikiometri  $\text{Sm}_2\text{O}_3$  (99%, Wako Pure Chemical Industries, Ltd.),  $\text{SrCO}_3$  (98%, Shimakyu chemical Co., Ltd),  $\text{BaCO}_3$  (98.8%, Showa Chemical Industries, Ltd.) dan  $\text{CoO}$  (99,9%, Choneye Pure Chemical Co., Ltd.) serbuk digunakan sebagai raw material. Serbuk katoda LBSC disiapkan menggunakan teknik *solid-state reaction*. Prosedur rinci mengenai fabrikasi katoda dapat dilihat pada referensi [22]. Serbuk  $\text{Ce}_{0.8}\text{Sm}_{0.2}\text{O}_{1.9}$  (SDC) disintesis dengan kopresipitasi menggunakan  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (99%, Wako Pure Chemical Industries, Ltd.) dan  $\text{Sm}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (99%, Wako Pure Chemical Industries, Ltd.) sebagai raw material. Prosedur rinci mengenai fabrikasi elektrolit SDC dapat dilihat pada referensi [23].

### Peralatan

Peralatan yang digunakan antara lain peralatan gelas, timbangan digital, bola grinding alumina, ~~magnetic Stirrer~~, *magnetic stirrer* timbangan digital, *furnace*, sablon, *injector*, dan

*vacuum tube*. Instrumen yang digunakan adalah mesin pres, XRD; Rigaku D/MAX-2500V, *digital source meter* (Keithley 2420). potensiostat VoltaLab PGZ30 dan Z-view.

### Fabrikasi Spesimen

Sel simetris LBSC|SDC|LBSC yang diinfiltrasi bahan elektrolit SDC dibuat dengan teknik sablon. Pasta katoda perovskit ganda LBSC dioleskan di kedua sisi cakram elektrolit SDC berdiameter 1,3 cm dan tebal 0,1 cm. Setelah katoda disablon pada elektrolit SDC kemudian sampel disinter pada 1000°C selama 4 jam. Penjelasan secara rinci fabrikasi sample sel simetris dapat dilihat pada makalah sebelumnya [21]. Dalam tungku, pengujian sel simetris diuji pada suhu antara 600°C–800°C dengan interval 50°C di bawah tekanan atmosfer  $p(\text{O}_2) = 0,21 \text{ atm}$ .

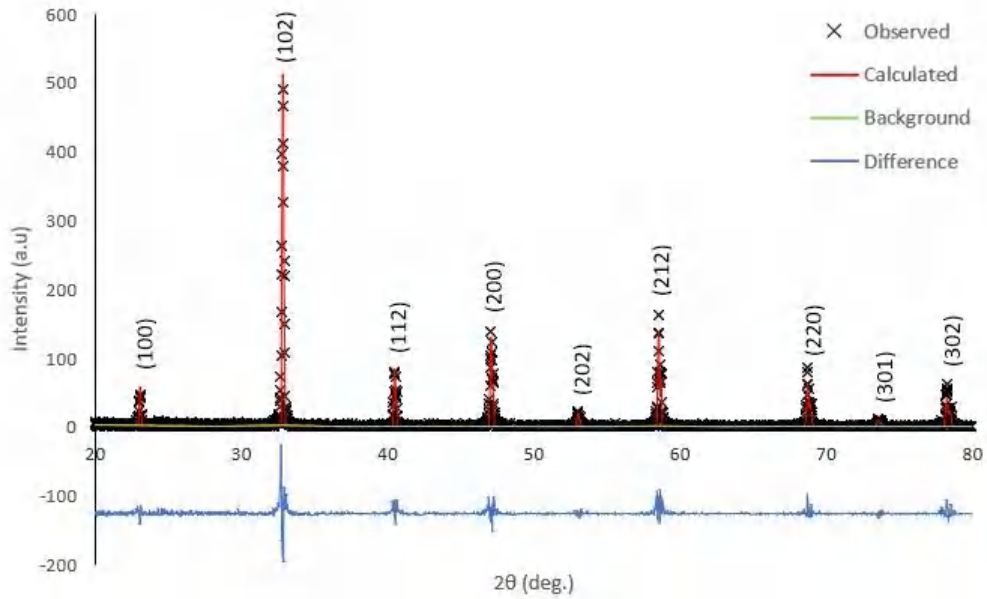
### Pengukuran

Karakterisasi serbuk ~~bahan~~—Struktur katoda  $\text{LaBa}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{Co}_2\text{O}_{5+\delta}$  (LBSC) dan ~~kompatibilitas bahan kimia antara katoda LBSC dan elektrolit SDC dikarakterisasi dengan difraktometer serbuk sinar-X (XRD);~~ Karakterisasi serbuk katoda  $\text{LaBa}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{Co}_2\text{O}_{5+\delta}$  (LBSC) menggunakan Difraksi Sinar-X (XRD Rigaku D/MAX-2500V) dengan radiasi  $\text{Cu K}\alpha$  (1,5418 Å), kecepatan pemindaian 4 °/menit dan rentang pemindaian 20°–80°. Data pengujian konduktivitas listrik dicatat dengan *digital source meter* (Keithley 2420). Struktur mikro katoda LBSC diamati dengan pemindai mikroskop elektron (SEM; Hitachi 3500H). Pengujian *impedance AC* menggunakan potensiostat VoltaLab PGZ30. Di bawah kondisi terpolarisasi katodik, *EIS (electrochemical impedance spectroscopy)* dilakukan sebagai fungsi dari tegangan katodik. Analisis *fitting EIS* dilakukan menggunakan perangkat lunak Z-view.

### Hasil dan Diskusi

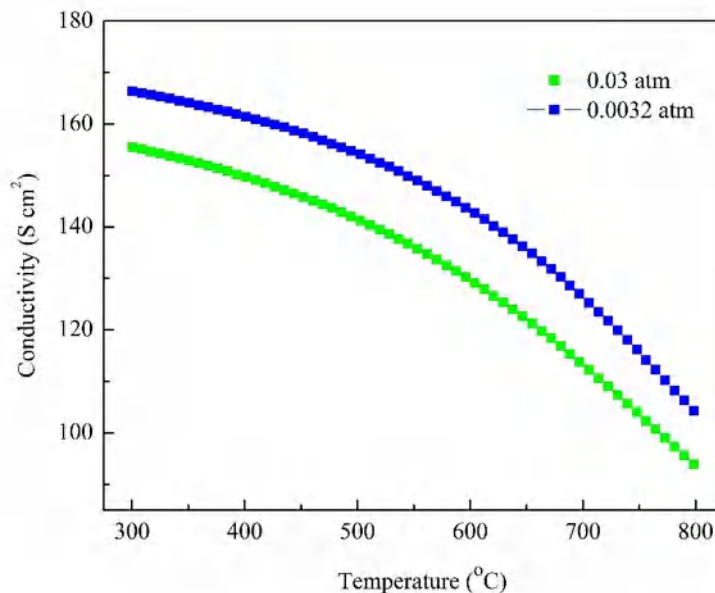
Gambar 1 menunjukkan pola difraksi sinar-X dari serbuk katoda LBSC yang dikalsinasi pada suhu 1100°C selama 5 jam. ~~Nyaris tidak ditandai munculnya puncak karena kotoran yang tercampur pada serbuk katoda LBSC.~~ Pola XRD LBSC sebagai struktur perovskit ganda tanpa puncak karena pengotor/ketidakmurnian [24]. Hal ini menunjukkan fabrikasi bubuk katoda LBSC berhasil baik. Fitting pola difraksi sesuai dengan basis data ICSD 98-009-0492. Analisis Rietveld menggunakan aplikasi General Structure Analysis System (GSAS). Berdasarkan data *refinement*, diketahui bahwa pola difraksi sampel LBSC merupakan struktur tetragonal (*space group*: P4/mmm) dengan parameter kisi  $a = 3.86253 \text{ \AA}$ ,  $c = 7.73421 \text{ \AA}$ , dan  $V = 115.338 \text{ \AA}^3$ . Perbesaran tertinggi puncak intensitas (102), pergeseran puncak intensitas tertinggi (102) menuju sudut yang lebih rendah menunjukkan ekspansi volume sel satuan.

Gambar 2 menunjukkan konduktivitas listrik sampel katoda LBSC pada tekanan atmosfer  $p(\text{O}_2) = 0,03$  dan  $0,0032 \text{ atm}$  dalam rentang suhu 300°C–800°C. Pada  $p(\text{O}_2) = 0,03 \text{ atm}$ , konduktivitasnya menurun cukup signifikan dengan meningkatnya suhu menunjukkan sifat logam.



**Gambar 1.** Gambar 1. Pola difraksi sinar-X serbuk katoda LBSC yang disinter pada 1100°C dan analisis Rietveld menggunakan aplikasi General Structure Analysis System (GSAS).

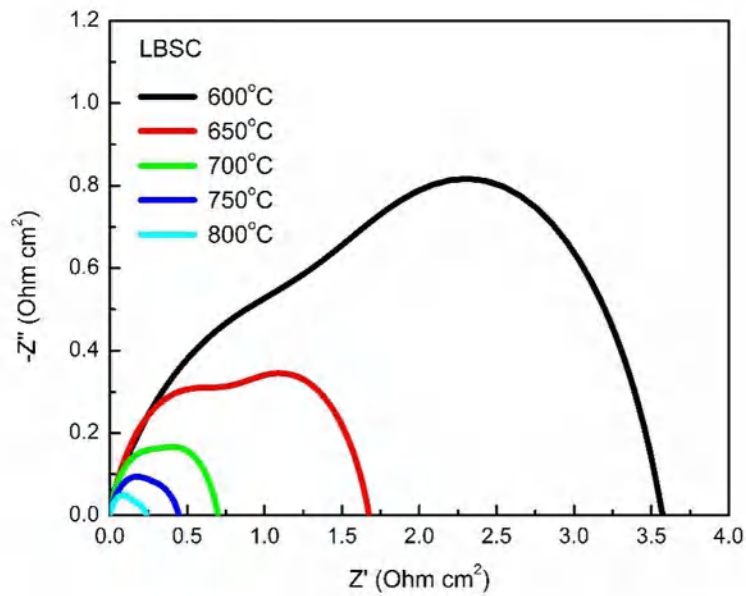
Dapat dilihat bahwa pengurangan konduktivitas secara tiba-tiba pada suhu 300°C terjadi pada awal pemanasan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Pengurangan konduktivitas terjadi sejak awal pemanasan pada suhu 300°C seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, hal ini terjadi karena cacat kisi ikatan Co–O–Co, menghasilkan pelepasan atom oksigen dari kisi dan reduksi  $\text{Co}^{4+}$  menjadi  $\text{Co}^{3+}$  atau  $\text{Co}^{3+}$  menjadi  $\text{Co}^{2+}$ . Nilai konduktivitas katoda LBSC berada pada kisaran  $100 \text{ S.cm}^{-1}$ – $165 \text{ S.cm}^{-1}$  dan memenuhi persyaratan sebagai bahan katoda SOFC [25].



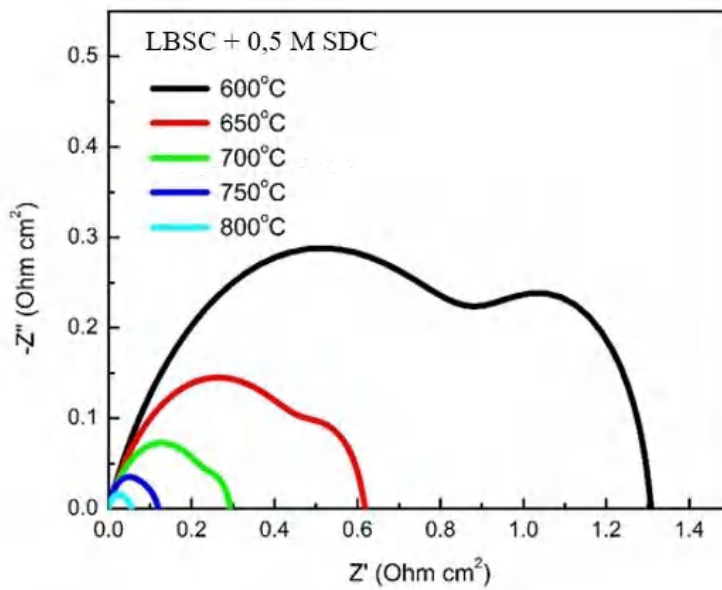
**Gambar 2.** Konduktivitas katoda LBSC pada  $P(\text{O}_2) = 0,03$  atm dan  $0,0032$  atm

Sifat konduktivitas metalik LBSC mungkin terkait dengan beberapa alasan berikut [26-28]: (1) pita energi *overlap* antara Co-3d dan O-2p; (2) adanya ion  $\text{Co}^{4+}$  dari disproporsi muatan

Co<sup>3+</sup> yang dihasilkan secara termal; dan (3) hilangnya oksigen dari kisi pada suhu yang lebih tinggi. Pada  $p(\text{O}_2) = 0,0032 \text{ atm}$ , konduktivitas listrik menurun dengan penurunan  $p(\text{O}_2)$ , trend-nya mirip pada pengujian di bawah tekanan atmosfer  $p(\text{O}_2) = 0,03 \text{ atm}$ . Diagram Nyquist spektroskopi impedansi katoda LBSC dan LBSC + 0,5 M SDC seperti ditunjukkan pada Gambar 3 (a) dan Gambar 3 (b). Seperti yang telah dilaporkan oleh tim kami sebelumnya, infiltrasi SDC terhadap katoda  $\text{SmBa}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{Co}_2\text{O}_{5+\delta}$  menunjukkan butiran SDC kisaran 10-35 nm. Butiran SDC secara merata terdistribusi secara homogen dipermukaan katoda berpori menghasilkan interkoneksi yang baik dan meningkatkan sifat elektrokimia. Kondisi ini menunjukkan bahwa partikel berukuran nano SDC aktif meningkatkan reaksi elektrokimia antar lapisan elektroda-elektrolit dan adsorpsi-desorpsi difusi oksigen antarlapisan permukaan katoda-gas secara bersamaan [21].



(a)



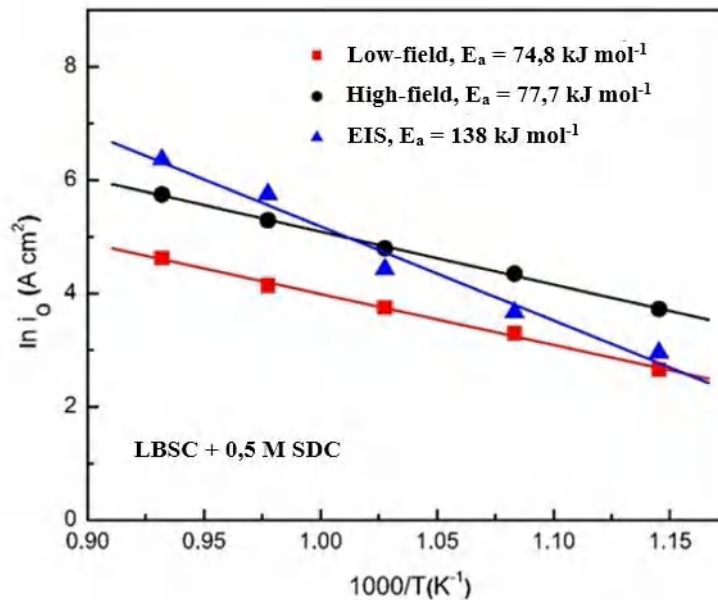
(b)

**Gambar 3.** Diagram Nyquist spektroskopi impedansi: (a) katoda LBSC tanpa infiltrasi, (b) katoda LBSC+0,5M SDC pada suhu 600°C–800°C.

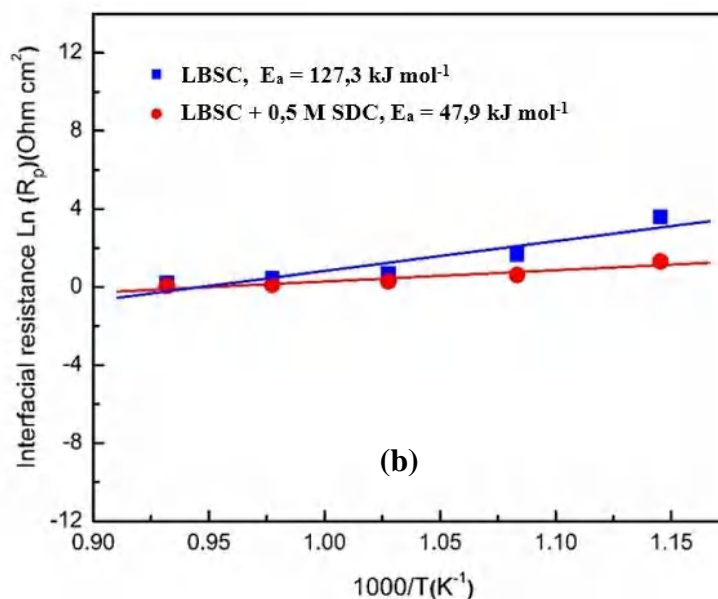
Sifat elektrokimia katoda dan laju reduksi oksigen intrinsik dapat dievaluasi melalui parameter nilai rapat arus [29]. Dalam makalah ini, teknik *electrochemical impedance spectroscopy (EIS)*, *low-field (LF)* dan *high-field (HF)* digunakan untuk menentukan nilai rapat arus, penjelasan lebih rinci ketiga teknik ini dapat dilihat pada referensi [22]. Dari kemiringan plot Arrhenius, energi aktivasi keseluruhan ( $E_a$ ) untuk reaksi reduksi oksigen (*oxygen reduction reaction, ORR*) dihitung dengan persamaan Arrhenius berikut.

$$\ln i_o = \ln K - \frac{E_a}{RT}$$

Keterangan: K merupakan konstanta pra-eksponensial, yang ditentukan dari perpotongan y, dan  $E_a$  yaitu energi aktivasi reaksi.  $E_a$  untuk ORR berhubungan dengan teknik preparasi dan komposisi katoda yang berbeda serta struktur katoda. Gambar 4 menampilkan grafik Arrhenius untuk nilai rapat arus yang dikoleksi dari spesimen perovskite ganda LBSC pada suhu kerja antara 600°C–800°C. Nilai aktivasi energi ( $E_a$ ) sel simetris sebesar 138,0 kJ mol<sup>-1</sup>, 74,8 kJ mol<sup>-1</sup> dan 77,7 kJ mol<sup>-1</sup> masing-masing untuk EIS, LF dan HF seperti ditunjukkan pada Gambar 4 (a).



(a)



(b)

**Gambar 4.** (a) Plot Arrhenius dari ORR katoda LBSC pada elektrolit SDC, nilai rapat arus ( $i_o$ ) diperoleh melalui teknik EIS, (LF) dan HF, (b)  $\ln(R_p)$  vs.  $1000/T$  pada rentang suhu  $600^\circ\text{C}$ – $800^\circ\text{C}$ .

Linearitas grafik Arrhenius mengindikasikan bahwa oksida perovskite ganda LBSC stabil sebagai fungsi temperatur. Energi aktivasi ( $E_a$ ) resistansi polarisasi katoda LBSC+0,5 M SDC dari plot  $\ln(R_p)$  vs  $1000/T$  sebesar  $47,9 \text{ kJ mol}^{-1}$  atau menurun signifikan dibanding spesimen murni [LBSC] yaitu  $127,3 \text{ kJ mol}^{-1}$  atau turun sebesar 79,4 % pada tekanan atmosfer  $0,03 \text{ atm}$  seperti ditunjukkan pada Gambar 4 (b).

Nilai rapat arus katoda LBSC meningkat dari  $11,13 \text{ } \Omega.\text{cm}^2$  pada  $600^\circ\text{C}$  ke  $154,1 \text{ } \Omega.\text{cm}^2$  pada  $800^\circ\text{C}$ . Nilai rapat arus katoda LBSC mengalami peningkatan setelah diinfiltrasi 0,5 M SDC dari  $3,60 \text{ mA cm}^{-2}$  menjadi  $19,19 \text{ mA.cm}^{-2}$  pada temperatur  $600^\circ\text{C}$ . Pada temperatur  $700^\circ\text{C}$  nilai rapat arus berlanjut mengalami peningkatan yaitu dari  $72,28 \text{ mA.cm}^{-2}$  (LBSC murni) menjadi  $83,84 \text{ mA.cm}^{-2}$  (LBSC + 0,5 M SDC). Peningkatan nilai rapat arus sangat signifikan terjadi pada temperatur  $800^\circ\text{C}$  yaitu dari  $154,10 \text{ mA.cm}^{-2}$  (LBSC murni) menjadi  $577,86 \text{ mA.cm}^{-2}$  (LBSC + 0,5M SDC) atau mengalami peningkatan sebesar 275 %. Terbukti bahwa infiltrasi 0,5M SDC ke dalam katoda LBSC porous meningkatkan nilai rapat arus secara signifikan katoda perovskit ganda LBSC seperti tercantum pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Nilai rapat arus (*current density* ( $i_o$ )) katoda LBSC dan LBSC + 0,5 M SDC ditentukan dengan metode EIS

Temperatur ( $^\circ\text{C}$ )	<i>Current density</i> ( $i_o$ ) ( $\text{mA.cm}^{-2}$ )	
	LBSC	LBSC + 0,5 M SDC
600	11,13	19,19
650	25,17	38,99
700	72,28	83,84
750	88,15	314,82
800	154,10	577,86



**Gambar 5.** Penampang sel simeteris yang diamati menggunakan SEM

Struktur mikro katoda berhubungan kuat dengan elektron dan transportasi oksigen. Sifat-sifat tersebut berdampak terhadap kinerja sel bahan bakar padat (SOFC) antara lain: kinetika reaksi,

charge transport, dan mass transport preprocess [30]. Secara umum, lapisan katoda dalam komponen SOFC disyaratkan memiliki butiran yang homogen, *dense* dan berpori-pori tinggi (*porous*). Katoda dengan porositas tinggi akan memfasilitasi transportasi oksigen ke situs *three-phase boundary* (TPB) aktif. TPB adalah area antarmuka antara elektroda, elektrolit dan gas bahan bakar di mana reaksi keseluruhan terjadi. SDC mempunyai konduktivitas ionik tinggi yang memperluas zona reaksi aktif sehingga menurunkan polarisasi resistansi (resistance polarization,  $R_p$ ) dan meningkatkan kinerja SOFC [31]. Struktur mikro dari penampang sel simetris LBSC|SDC|LBSC seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

## Kesimpulan

Penelitian ini difokuskan pada peningkatan kinerja sel simetris melalui modifikasi permukaan katoda. Nilai rapat arus meningkatkan signifikan terjadi pada temperatur 800°C sebesar 275 %. Energi aktivasi ( $E_a$ ) resistansi polarisasi katoda LBSC+0,5 M SDC sebesar 47,9 kJ mol<sup>-1</sup> atau lebih rendah 79,4 % dibanding spesimen LBSC tanpa infiltrasi. Nilai aktivasi energi ( $E_a$ ) sel simetris LBSC + 0,5 M SDC|SDC| LBSC + 0,5 M SDC|dengan urutan EIS>HF>LF. Partikel nano SDC aktif meningkatkan reaksi elektrokimia antarlapisan elektroda-elektrolit dan adsorpsi-desorpsi difusi oksigen antarlapisan permukaan katoda-gas sehingga kinerja sel simetris meningkat secara signifikan.

## Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada Prof Yen-Pei Fu telah memfasilitasi penelitian ini di Departemen *Materials Science and Engineering*, National Dong Hwa University Taiwan.

## Daftar Pustaka

1. Mendonça, C., Ferreira., Diogo, M. F., Santos, D. M. S., Towards the Commercialization of Solid Oxide Fuel Cells: Recent Advances in Materials and Integration Strategies, *Fuels*, 2, 4, (2021), 393–419 <https://doi.org/10.3390/fuels2040023>.
2. Ma, R., Lin. G., Zhou, Y., Liu, Q., Zhang, T., Shan, G., Yang, M. & Wang, J., A review of oxygen reduction mechanisms for metal-free carbon-based electrocatalys, *Computational Materials*, 5, 1, (2019), 1–15 <https://doi.org/10.1038/s41524-019-0210-3>.
3. Wang, X. X., Swihart, M. T., Wu, G., Achievements, challenges and perspectives on cathode catalysts in proton exchange membrane fuel cells for transportation. *Nature Catalysis*, 2, 7, (2019), 578–589 <https://doi.org/10.1038/s41929-019-0304-9>.
4. Shen, M., Ai, F., Ma, H., Xu, H., Zhang, Y., Progress and prospects of reversible solid oxide fuel cell materials, *iScience*, 24, 12, (2021), 1–44 <https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.103464>.
5. Yang, G., Su, C., Shi, H., Zhu, Y., Song, Y., Zhou, W, Shao, Z., Toward Reducing the Operation Temperature of Solid Oxide Fuel Cells: Our Past 15 Years of Efforts in Cathode Development, *Energy Fuels*, 34, 12, (2020), 15169–15194 <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c01887>.
6. Kyeong Eun Song, Sung Hun Woo, Seung Wook Baek, Hyunil Kang, Won Seok Choi, Jun Young Park, Jung Hyun Kim, SmBa<sub>1-x</sub>Ca<sub>x</sub>Co<sub>2</sub>O<sub>5+δ</sub> Layered Perovskite Cathodes for Intermediate Temperature-operating Solid Oxide Fuel Cells, *Frontiers in Chemistry*, 8, (2021), 1–7 <https://doi.org/10.3389/fchem.2020.628813>.
7. Liu, X., Jin, F., Sun, N., Li, J., Shen, Y., Wang, F., Li, J., Nd<sup>3+</sup>-deficiency double perovskite Nd<sub>1-x</sub>Ba<sub>x</sub>Co<sub>2</sub>O<sub>5+δ</sub> and performance optimization as cathode materials for intermediate-temperature solid oxide fuel cell, *Ceramics International*, 47, 23, (2021), 333886–333896 <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.08.301>.

8. Sihyuk Choi, Seonyoung Yoo, Jiyoung Kim, Seonhye Park, Areum Jun, Sivaprakash Sengodan, Junyoung Kim, Jeeyoung Shin, Hu Young Jeong, Yong Man Choi, Guntae Kim, Meilin, Liu., Highly efficient and robust cathode materials for low-temperature solid oxide fuel cells:  $\text{PrBa}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_{2-x}\text{Fe}_x\text{O}_{5+\delta}$ , *Scientific Reports*, 3, 1, (2013), 2426–2432 <https://doi.org/10.1038/srep02426>.
9. Parfitt, D., Chronos, A., Tarancon, A., Kilner, J. A., Oxygen ion diffusion in cation ordered/disordered  $\text{GdBaCo}_2\text{O}_{5+\delta}$ , *J Mater Chem.*, 21, 7, (2011), 2183–2186 <https://doi.org/10.1039/c0jm02924f>.
10. M. Jafari, H. Salamati, M. Zhiani, E. Shahsavari, Enhancement of an IT-SOFC cathode by introducing YSZ: Electrical and electrochemical properties of  $\text{La}_{0.6}\text{Ca}_{0.4}\text{Fe}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$ -YSZ composites, *Int. J. Hydrogen Energy*, 44, 3, (2019), 1953–1966 <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.10.151>.
11. Liu, M., Ding, D., Blinn, K., Li, X., Nie, L., Liu, M., Enhanced performance of LSCF cathode through surface modification, *Int. J. Hydrogen Energy*, 37, 10, (2013), 8613–8620 <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.02.139>.
12. Yoon, B. Y., Bae, J., Characteristics of nano  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$  infiltrated  $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$  scaffold cathode for enhanced oxygen reduction, *Int. H. Hydrogen Energy*, 38, 30, (2013), 13399–13407 <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.07.087>.
13. Ding, D., Li, X., Lai, S. Y., Gerdes, K., Liu, M., Enhancing SOFC cathode performance by surface modification through infiltration, *Energy Environ. Sci.*, 7, 2, (2014), 552–575 <https://doi.org/10.1039/c3ee42926a>.
14. Lin, Y., Su, C., Huang, C., Kim, J. S., Kwak, C., Shao, Z., A new symmetric solid oxide fuel cell with a samaria-doped ceria framework and a silver-infiltrated electrocatalyst, *J. Power Sources*, 197, (2012), 57–64 <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2011.09.040>.
15. Su, F., Zhang, Y., Ni, M., Xia, C,  $\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CoO}_{3-\delta}$ - $\text{Ce}_{1.8}\text{Sm}_{0.2}\text{O}_{1.9}$  electrodes enhanced by  $\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CoO}_3$  impregnation for proton conductor based solid oxide fuel cells, *Int. J. Hydrogen Energy*, 39, 6, (2014), 2685–2691 <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.12.012>.
16. Shen, J., Chen, Y., Yang, G., Zhou, W., Tade, M. O., Shao, Z., Impregnated  $\text{LaCo}_{0.3}\text{Fe}_{0.67}\text{Pd}_{0.03}\text{O}_{3-\delta}$  as a promising electrocatalyst for symmetrical intermediate-temperature solid oxide fuel cell, *J. Power Sources*, 306, (2016), 92–99 <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.12.021>.
17. Jiang, S. P., Nanoscale and nano-structured electrodes of solid oxide fuel cells by infiltration: Advances and challenges, *Int. J. Hydrogen Energy*, 37, 1, (2012), 449–470 <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.09.067>.
18. Fu, Y. P., Ouyang, J., Li. C. H., Hu, S. H., Characterization of nanosized  $\text{Ce}_{0.8}\text{Sm}_{0.2}\text{O}_{1.9}$ -infiltrated  $\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_{0.8}\text{Cu}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$  cathodes for solid oxide fuel cells, *Int. J. Hydrogen Energy*, 37, 24, (2012), 19027–19035 <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.09.012>.
19. Wang, F., Chen, D., Shao, Z.,  $\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CoO}_{3-\delta}$ -infiltrated cathodes for solid oxide fuel cells with improved oxygen reduction activity and stability, *J. Power Sources*, 216, (2012), 208–215 <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.05.068>.
20. Nie, L., Liu, M., Zhang, Y., Liu, M.,  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$  cathodes infiltrated with samarium-doped cerium oxide for solid oxide fuel cells, *J. Power Sources*, 195, 15, (2010), 4704–4708 <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2010.02.049>.
21. Subardi, A., Fu, Y. P., Electrochemical and thermal properties of  $\text{SmBa}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_2\text{O}_{5+\delta}$  cathode impregnated with  $\text{Ce}_{0.8}\text{Sm}_{0.2}\text{O}_{1.9}$  nanoparticles for intermediate-temperature solid oxide fuel cells, *Int. J. Hydrogen Energy*, 42, 38, (2017), 24338–24346 <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.08.010>.



22. Subardi, A, Cheng, M. H., Fu, Y. P., Chemical bulk diffusion and electrochemical properties of  $\text{SmBa}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_2\text{O}_{5+\delta}$  cathode for intermediate solid oxide fuel cells, *Int J Hydrogen Energy*, 39, 35, (2014), 20783–20790 <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.06.134>.
23. Fu, Y. P., Wen, S. B., Lu, C. H., Preparation and characterization of samaria-doped ceria electrolyte materials for solid oxide fuel cells, *J Am Ceram Soc.*, 91, 1, (2008), 127–131 <https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2007.01923.x>.
24. Adi Subardi, Ching-Cheng Chen, Yen-Pei Fu, Oxygen transportation, electrical conductivity and electrochemical properties of layered perovskite  $\text{SmBa}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_2\text{O}_{5+\delta}$ , *Int. J. Hydrogen Energy*, 42, 8, (2017), 5284–5294 <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.11.123>.
25. Jo, K. Ha, J. Ryu, J. Lee, E., Lee, H, DC 4-Point Measurement for Total Electrical Conductivity of SOFC Cathode Material, *Appl., Sci.*, 11, (2021) 4963 <https://doi.org/10.3390/app11114963>.
26. Jaiswal, A., Wachsman, E. D., Bismuth-Ruthenate-based cathodes for SOFCs, *J. Electrochem. Soc.*, 152, 4, (2017), A787–A790 <https://doi.org/10.1149/1.1866093>.
27. Meng, F. C., Xia, T., J. Wang, Shi, Z., Lian, J. P., Zhao, H., J. M. Bassat, J. M., Grenier, J. C., Evaluation of layered perovskites  $\text{YBa}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Co}_2\text{O}_{5+\delta}$  as cathodes for intermediate-temperature solid oxide fuel cells, *Int. J. Hydrogen Energy*, 39, 9, (2014), 4531–4543 <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.01.008>.
28. Kim, J., Seo, W. Y. Shin, J., Liu M., Kim, G., Composite cathodes composed of  $\text{NdBa}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_2\text{O}_{5+\delta}$  and  $\text{Ce}_{0.9}\text{Gd}_{0.1}\text{O}_{1.95}$  for intermediate-temperature solid oxide fuel cells, *J. Mater. Chem.*, 1, (2013), 515–519 <https://doi.org/10.1039/c2ta00025c>.
29. Adler, S. B., Factors governing oxygen reduction in solid oxide fuel cell cathodes. *Chem Rev.*, 104, 10, (2004), 4791–4844 <https://doi.org/10.1021/cr020724o>.
30. Nam, J. H., Jeon D. H., A Comprehensive microscale model for transport and reaction in intermediate temperature solid oxide fuel cell, *Electrochim Acta*, 51, 17, (2006), 3446–3460 <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2005.09.041>.
31. Pang S, Jiang X, Li X, Wang Q, Su Z., Characterization of Ba-deficient  $\text{PrBa}_{1-x}\text{CoO}_{5+\delta}$  as cathode material for intermediate temperature solid oxide fuel cells. *J Power Sources*, 204, (2012), 53-59 <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.01.034>.