

PERFORMA ELEKTROKIMIA KOMPOSIT KATODA BERBASIS $\text{La}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{Co}_{0,2}\text{Fe}_{0,8}\text{O}_{3-\delta}$ UNTUK *SOLID OXIDE FUEL CELL* BERSUHU RENDAH

Jarot Raharjo

Pusat Teknologi Material (PTM) - BPPT

Gedung II BPPT Lantai 22, Jl. M.H. Thamrin 8, Jakarta 10340

e-mail: jarot.raharjo@bppt.go.id

ABSTRAK

PERFORMA ELEKTROKIMIA KOMPOSIT KATODA BERBASIS $\text{La}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{Co}_{0,2}\text{Fe}_{0,8}\text{O}_{3-\delta}$ UNTUK *SOLID OXIDE FUEL CELL* BERSUHU RENDAH. Komposit katoda bernasis bahan *perovskite* $\text{La}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{Co}_{0,2}\text{Fe}_{0,8}\text{O}_{3-\delta}$ (LSCF) telah diteliti untuk aplikasi *solid oxide fuel cell* bersuhu rendah (LT-SOFC) dengan samarium terdoping cerium (SDC) - karbonat sebagai elektrolit. Serbuk LSCF di sintesis menggunakan teknik sol-gel. Selanjutnya komposit katoda LSCF-SDC karbonat disiapkan dengan mencampurkan LSCF dengan elektrolit SDC-karbonat dengan teknik reaksi keadaan padat dalam berbagai komposisi, yaitu 30 % berat, 40 % berat dan 50 % berat. Komposit katoda dilakukan beberapa karakterisasi seperti morfologi, struktur fasa dan koefisien ekspansi panas serta performa elektrokimia selnya. Nilai koefisien ekspansi panas katoda mendekati elektrolit ketika jumlah campuran elektrolit SDC-karbonat dalam komposit katoda naik. Diantara katoda yang diselidiki, 70LSCF - 30SDC7030 memperlihatkan performa sel yang terbaik, yaitu 60,26 mW/cm² dan 75,33 mW/cm² pada masing-masing 600 °C dan 650 °C.

Kata kunci : Katoda, $\text{La}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{Co}_{0,2}\text{Fe}_{0,8}\text{O}_{3-\delta}$, SDC-(Li/Na)₂CO₃, Koefisien ekspansi panas, Performa elektrokimia

ABSTRACT

ELECTROCHEMICAL PERFORMANCE OF $\text{La}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{Co}_{0,2}\text{Fe}_{0,8}\text{O}_{3-\delta}$ BASED CATHODES FOR LOW TEMPERATURE SOLID OXIDE FUEL CELLS. Composite cathodes based on perovskite, $\text{La}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{Co}_{0,2}\text{Fe}_{0,8}\text{O}_{3-\delta}$ (LSCF), were investigated as cathodes for low-temperature solid-oxide fuel cells with samarium-doped cerium (SDC)-carbonate electrolytes. The LSCF powder was synthesized via the sol-gel technique. The LSCF-SDC-carbonate composite cathode was subsequently prepared by mixing the LSCF with the SDC-carbonate electrolyte through solid-state reaction in various compositions, i.e., 30wt%, 40wt%, and 50wt%. The composite cathode was characterized in terms of its morphology, phase structure, and thermal expansion coefficient, as well as the electrochemical performance of the cells. The thermal expansion of the cathode approached that of the electrolyte when the amount of the SDC-carbonate electrolyte in the composite cathode was increased. Among the cathodes investigated, 70LSCF-30SDC7030 showed the best cell performance of 60.26 mW/cm² to 75.33 mW/cm² at 600 °C to 650 °C, respectively.

Keywords : Cathode, $\text{La}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{Co}_{0,2}\text{Fe}_{0,8}\text{O}_{3-\delta}$, SDC-(Li/Na)₂CO₃, Thermal expansion coefficient, Electrochemical performance

PENDAHULUAN

Solid Oxide Fuel Cells (SOFC) adalah piranti elektrokimia yang beroperasi pada suhu yang tinggi pada rentang 800 °C hingga 1000 °C. Suhu operasi yang tinggi dapat menyebabkan masalah seperti kesulitan konstruksi baik dalam pemilihan material dan proses. Mereka juga menghasilkan ketidak serasian koefisien ekspansi panas, ketahanan yang rendah dan kesempatan yang lebih rendah untuk produksi secara masal [1]. Pada dasawarsa terakhir, penelitian *SOFC* telah difokuskan kepada menurunkan suhu operasi [2-4]. Suhu operasi yang lebih

rendah telah ditemukan mengatasi dua masalah utama yang menjadi isu dalam penggunaan *SOFC* yaitu daya tahan dan kehandalan. Namun demikian, penurunan suhu operasi akan menurunkan kemampuan sel. Sehingga sebagian besar penelitian *SOFC* difokuskan kepada pengembangan elektrolit dengan konduktivitas ionik yang tinggi dan elektroda yang sesuai baik katoda maupun anoda pada suhu yang lebih rendah [5].

SOFC bersuhu rendah (LT-*SOFC*) telah dikembangkan menggunakan suhu operasi antara

400 °C hingga 600 °C [6-8]. *Fuel cell* ini berdasarkan kepada dua-konduktifitas elektrolit yang unik. Elektrolit tersebut adalah komposit konvensional *SOFC* bersuhu menengah (*IT-SOFC*), konduktifitas ion oksigen (gadolinium atau samarium) terdop dengan serium dengan konduktifitas proton karbonat. Kinerja elektrokimia yang dihasilkan tinggi yaitu 300mW/cm² hingga 1100 mW/cm² pada suhu 400 °C hingga 600 °C [9].

Kinerja *SOFC* yang baik tidak hanya dihasilkan oleh konduktifitas ionik dari komposit elektrolit serium-karbonat saja, tetapi juga oleh tingginya elektrokatalisis elektroda, khususnya katoda. Oleh karena itu, pengembangan katoda yang sesuai adalah penting untuk meningkatkan kinerja *SOFC*. Hanya beberapa studi tentang kesesuaian bahan katoda untuk sistem ini yang telah diterbitkan [10-12].

Kebutuhan sehubungan dengan bahan katoda yang digunakan dalam *SOFC* termasuk aktifitas elektrokimia yang baik, konduktifitas elektronik yang tinggi, porositas yang sesuai dan koefisien panas yang sesuai dengan komponen sel yang lain. Oksida *perovskite* $La_{1-x}Sr_xCo_{1-y}Fe_yO_3$ (*LSCF*), telah diketahui sebagai salah satu bahan katoda yang paling menjanjikan untuk *IT-SOFC* (600 °C hingga 800 °C) dengan kesesuaian yang baik dengan elektrolit samarium terdop serium (*SDC*) [12]. Oleh karena itu, studi ini bertujuan untuk mengembangkan bahan katoda *LSCF* untuk sistem *LT-SOFC*. *LSCF* dan elektrolit *SDC*- $(Li/Na)_2CO_3$ dalam beberapa kombinasi yaitu 70:30 (%berat), 60:40 (%berat) dan 50:50 (%berat) digunakan sebagai bahan katoda dalam kajian ini.

Metode umum untuk membuat sel tunggal sistem *LT-SOFC* adalah menggunakan penekanan tunggal dengan *uni-axial hot press* [8,13]. Teknik ini relatif mahal dan tidak sesuai untuk produksi sel secara masal. Alternatif lain yang tidak mahal adalah *pressureless sintering*, dimana lebih sesuai untuk produksi masal dan dapat menghasilkan film tipis. Dalam paper ini, sifat elektrokimia dari katoda di evaluasi dengan menguji *fuel cell* menggunakan komposit elektrolit *SDC*- $(Li/Na)_2CO_3$ dan anoda berbasis NiO. *Pressureless sintering* digunakan untuk memproduksi sel. Diskusi dalam paper ini berdasarkan kepada hasil percobaan.

METODE PERCOBAAN

Sintesis dan Karakterisasi Serbuk

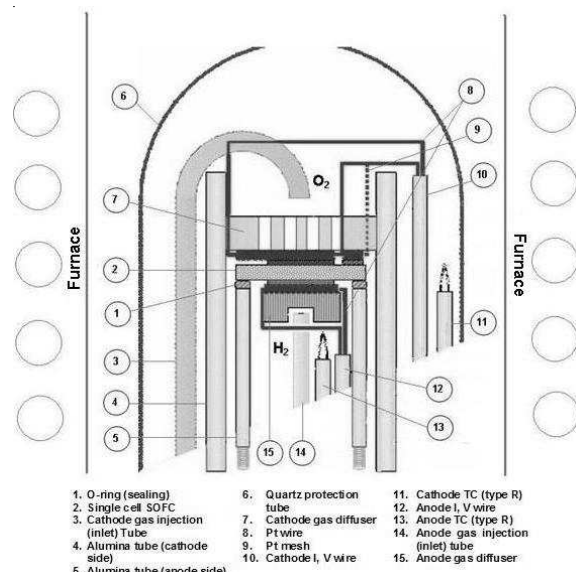
Komposit katoda mengandung campuran *LSCF* dan elektrolit *SDC*-30 wt% $(0,67Li/0,33Na)_2CO_3$. Oksida *perovskite* $La_{1-x}Sr_xCo_{0.2}Fe_{0.8}$ (*LSCF*), dimana $x=0,4$ dibuat dengan teknik *sol-gel* [14]. Komposit elektrolit tersusun dari *SDC* ($Ce_{0.8}Sm_{0.2}O_{1.9}$) dan karbonat biner $(0,67Li/0,33Na)_2CO_3$ disiapkan dengan dua langkah yang telah dijelaskan dalam penelitian sebelumnya [15]. Serbuk elektrolit mengandung 30 %berat karbonat, *SDC7030*.

Serbuk komposit anoda dibuat dengan mencampurkan NiO dengan *SDC7030* dengan teknik reaksi keadaan padat dalam persentase berat 60 :40 (%berat), yang dinamakan NiO-40*SDC7030* [16]. Pada akhirnya, komposit katod dibuat dengan mencampurkan *LSCF* dan *SDC7030* dengan teknik reaksi keadaan padat dalam tiga komposisi yang berbeda, yaitu 70:30 (%berat), 60:40 (%berat) dan 50:50 (%berat). Komposit tersebut masing-masing berturut-turut dinamakan *70LSCF-30SDC7030*, *60LSCF-40SDC7030* dan *50LSCF-50SDC7030*. Serbuk dicampur dalam *ball mill* selama 16 jam untuk mendapatkan campuran yang homogen dan ukuran partikel yang kecil. Campuran kemudian dilakukan perlakuan panas dalam tungku pada 680 °C selama 1 jam.

Pola difraksi sinar-X (*XRD*) serbuk komposit katoda ditentukan pada suhu ruangan menggunakan *X-Ray Diffractometer (Shimadzu, XRD600)* dengan radiasi Cu K α ($\lambda=1,5418\text{\AA}$), 40kV, 40mA dan dengan 2θ bervariasi 10° hingga 80°. Mikroskop elektron Zeiss EVO MA10 digunakan untuk menguji morfologi permukaan patahan sel dengan pembesaran sampai 30.000 kali. Analisis luas permukaan dilakukan pada serbuk komposit menggunakan *BET surface area analyzer (Altamira Instruments AMI-200)*. Distribusi ukuran partikel serbuk diukur menggunakan *laser particle sizer (Fritsch Analysette 22)*.

Analisis Ekspansi Panas

Sifat ekspansi panas dari semua komponen *SOFC* harus ditentukan ketika mempelajari kesesuaiannya. Dalam studi ini, analisis ekspansi panas dikenakan pada katoda menggunakan standar dilatometer (*Netzsch DIL402C*) pada 100 °C hingga 600 °C. Sampel untuk pengukuran koefisien ekspansi panas (*CTE*) dibuat



Gambar 1. Skema ruang pengujian elektrokimia *SOFC* untuk pengukuran performa sel tunggal

dalam bentuk silinder dengan menggunakan teknik standar *pressureless sintering* (~6 mm × ~10 mm).

Pembuatan Sel Tunggal

Sel tunggal *SOFC* dibuat dengan diameter pelet 25mm untuk pengukuran performa elektrokimia. Pelet dibuat dan disinter menggunakan teknik *pressureless sintering* pada atmosfer standar. Teknik ini melibatkan penekanan serbuk pada cetakan baja tahan karat dalam dua tahapan, penekanan serbuk elektrolit pada 200 MPa dan penekanan serbuk anoda dan katoda pada kedua sisi pada 37 MPa. Selanjutnya, pelet disinter pada suhu 600 °C selama 1 jam dalam udara.

Pengukuran Performa Elektrokimia

Pelet sel tunggal *SOFC* (*single button cells*) diuji menggunakan alat uji performa *SOFC* yang di desain oleh Chino Corp. Jepang. Pengujian sel tunggal dilakukan untuk mengukur performa I-V dan I-P sel. Skema diagram ruang pengujian elektrokimia *SOFC* diberikan dalam Gambar 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Serbuk

Gambar 2 memperlihatkan pola *XRD* komposit katoda *LSCF-SDC7030* dengan berbagai kandungan elektrolit yaitu 30 %berat (*70LSCF-30SDC7030*), 40 %berat (*60LSCF-40SDC7030*) dan 50 %berat (*50LSCF-50SDC7030*). Data mengindikasikan bahwa serbuk kalsin mengandung *LSCF* dan *SDC* karbonat (*SDC7030*) sebagai dua fasa terbentuk yang ada, dimana telah dikonfirmasi dalam pola *XRD*. Pola *LSCF* dan *SDC7030* terindek sebagai fasa kubus. Hasil ini sesuai dengan hasil dari beberapa laporan peneliti sebelumnya [9,12,17].

Puncak difraksi fasa *SDC* karbonat menjadi lebih kuat dan tajam dengan penambahan kandungan elektrolit. Penambahan karbonat dalam komposit elektrolit tidak mengubah struktur fasa *SDC*. *SDC* digunakan untuk meningkatkan konduktivitas campuran (ionik dan

Tabel 1. Sifat partikel serbuk komposit katoda *LSCF-SDC7030*

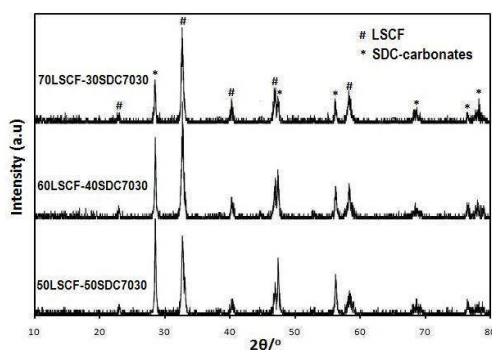
Sampel	Luas permukaan (m ² /g)	Rata-rata ukuran partikel (µm)	Ukuran kristal (nm)	
			LSCF	SDC7030
50LSCF-50SDC7030	7.42	0.560	47.97	97.8
60LSCF-40SDC7030	3.39	0.655	49.79	102.21
70LSCF-30SDC7030	4.04	0.624	41.55	80.90

protonik) dan meningkatkan aktifitas elektroda. Komposit garam Serium menghasilkan kedua-duanya oksida ion (fasa Serium) dan konduktivitas proton. Selanjutnya dapat ditentukan dari daerah antarfasa diantara dua fasa dan dari fasa karbonat [4]. Namun demikian, keberadaan *SDC* karbonat dalam komposit katoda dapat meningkatkan kesesuaian katoda dan mempengaruhi performa *LT-SOFC* disebabkan kehadiran konduktivitas ionik dalam katoda. Sehingga, komposisi komposit katoda harus dipilih yang sesuai.

Ukuran kristal dihitung menggunakan teknik perluasan garis *XRD* (*XRD line broadening*) dengan persamaan *Scherrer* ditabelkan dalam Tabel 1. Ukuran kristal rata-rata *LSCF* adalah 41,55 nm, 49,79 nm dan 47,97 nm, sedangkan *SDC7030* adalah 80,90 nm, 102,21 nm dan 97,8 nm untuk masing-masing *70LSCF-30SDC7030*, *60LSCF-40SDC7030* dan *50LSCF-SDC7030*. Ukuran partikel *SDC7030* selalu lebih besar dari pada *LSCF* untuk semua kandungan elektrolit.

Luas permukaan spesifik diukur menggunakan *BET surface area analyzer*. sampel diuji pada suhu mendekati -180 °C dalam nitrogen cair selama analisis. Analisis dengan perangkat lunak menghasilkan 4,04 m²/g, 3,39 m²/g dan 7,42 m²/g untuk masing-masing *70LSCF-30SDC7030*, *60LSCF-40SDC7030* dan *50LSCF-SDC7030*. Dari data memperlihatkan bahwa luas permukaan komposit tidak berubah secara drastis dengan kandungan elektrolit dalam komposit. Hasilnya mendekati luas permukaan dari *LSCF* murni mendekati 7,64m²/g dan *LSCF* komersial mendekati 5 m²/g hingga 7 m²/g, dimana baik untuk aplikasi *SOFC* [12]. Namun demikian, ukuran partikel yang lebih besar, memiliki luas permukaan yang lebih kecil. Dalam kasus ini, proses *ball milling* dan suhu kalsin memiliki pengaruh yang lebih besar dari pada kandungan karbonat.

Ukuran partikel diukur menggunakan *laser particle sizer* (*Fritsch Analysette 22*). Metode pengukuran melalui difraksi laser dalam sinar laser yang konvergen. Tabel 1 memperlihatkan rata-rata ukuran partikel serbuk komposit katoda dengan kandungan elektrolit yang berbeda. Analisis perangkat lunak mengkonfirmasi bahwa hasil distribusi partikel *70LSCF-30SDC7030* (0,216 µm hingga 0,859 µm), *60LSCF-40SDC7030* (0,208 µm hingga 0,979 µm) dan *50LSCF-SDC7030* (0,194 µm hingga 0,772 µm), dengan rata-rata ukuran partikel 0,624 µm, 0,655 µm dan 0,560 µm untuk masing-masing *70LSCF-30SDC7030*, *60LSCF-40SDC7030* dan *50LSCF-SDC7030*. Data menunjukkan bahwa ukuran partikel rata-rata, tidak berubah secara drastis dengan kandungan elektrolit dalam komposit



Gambar 2. Skema ruang pengujian elektrokimia *SOFC* untuk pengukuran performa sel tunggal

Tabel 2. Koefisien ekspansi panas dari katoda dan elektrolit.

Sampel	CTE ($\times 10^{-6} K^{-1}$) (100-600 °C)
70LSCF-30SDC7030	2,27
60LSCF-40SDC7030	1,18
50LSCF-50SDC7030	0,88
SDC7030 (electrolyte)	0,78

katoda. Hal ini berkaitan erat dengan hasil pengukuran *BET*, bahwa ukuran partikel yang lebih besar menghasilkan luas permukaan yang lebih kecil.

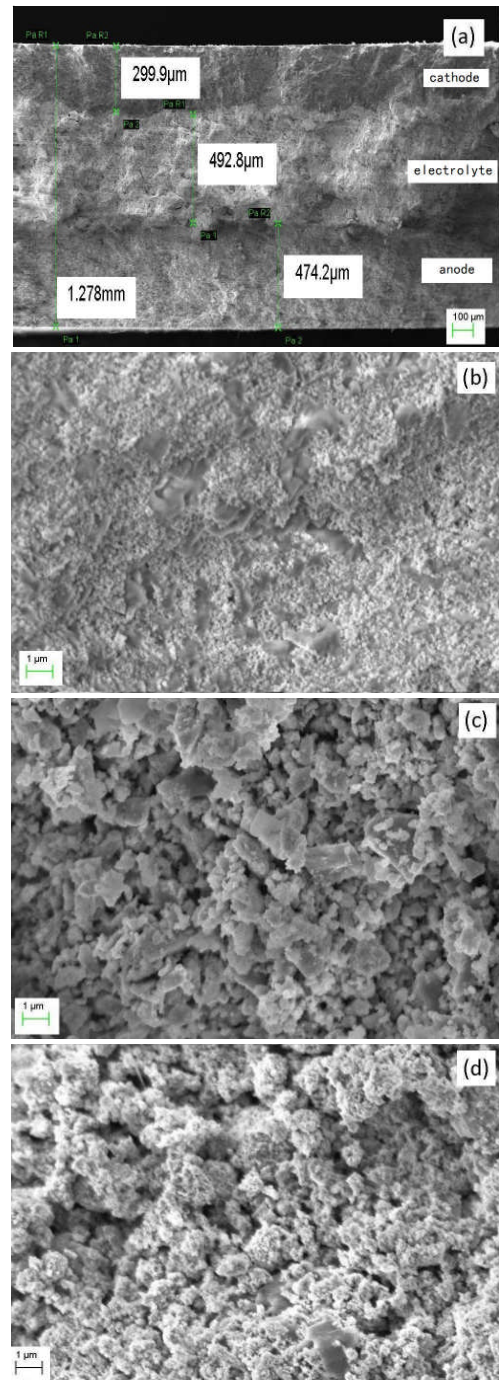
Analisis Ekspansi Panas

Perhatian secara khusus terhadap *SOFC* ditujukan terhadap kestabilan secara mekanis sel selama siklus panas. Kesesuaian antara ekspansi panas elektrolit dan katoda harus diuji. Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian *CTE* menggunakan dilatometer standar pada rentang suhu 100 °C hingga 600 °C. Komposit elektrolit *SDC7030* diuji sebagai rujukan. Tabel 2 menunjukkan bahwa *CTE* bahan komposit katoda sangat sensitif terhadap jumlah elektrolit dalam komposit katoda. Penambahan elektrolit dapat menurunkan *CTE*. Meningkatnya kandungan elektrolit dalam komposit katoda membuat *CTE* katoda semakin mendekati elektrolit. Komposit katoda *50LSCF-50SDC7030* ($0,88 \times 10^{-6} K^{-1}$) lebih sesuai dengan komposit elektrolit *SDC7030 composite electrolyte* ($0,78 \times 10^{-6} K^{-1}$). Meskipun tidak ada pembandingan yang dijelaskan dalam literatur, sebagai nilai *CTE* yang bisa diterima antara katoda dan elektrolit, perbedaan *CTE* yang paling kecil akan menurunkan kegagalan akibat beban panas pada antarmuka.

Karakterisasi Strukturmikro

Pressureless sintering adalah bentuk *sintering* yang relatif murah untuk menghasilkan sel pelet *LT-SOFC*. Teknik ini menggunakan alat penekanan dan tungku standar yang membuatnya dapat memproduksi masal dan kemudahan proses secara otomatis. Ada tiga parameter dalam meningkatkan mikrostruktur sel yaitu komposisi, suhu *sintering* dan tekanan penekanan. Strukturmikro pelet telah dikaji dalam studi ini. Elektrolit *LT-SOFC* harus padat (>90 %) dan bebas cacat. Persyaratan tingkat kepadatan yang tinggi penting untuk menghindari pencampuran gas antara anoda dan katoda. Sedangkan elektroda (katoda dan anoda) untuk *LT-SOFC* harus mempunyai porositas (20 % hingga 30 %). Porositas yang sesuai diperlukan untuk suplai gas oksigen ke dalam sisi katoda dan bahan bakar hidrogen ke dalam sisi anoda [13].

Teknik *sintering* tanpa tekanan melibatkan penekanan serbuk dalam cetakan baja tahan karat dalam dua tahapan, yaitu penekanan serbuk elektrolit pada



Gambar 3. Strukturmikro permukaan patahan sel tunggal *SOFC*

200 MPa dan dilanjutkan dengan penekanan kedua serbuk anoda dan katoda pada setiap sisi elektrolit pada 37 MPa. Kemudian pelet *disintering* pada suhu 600 °C selama 1 jam dalam udara. Hasil pengujian strukturmikro ditampilkan dalam Gambar 3.

Strukturmikro permukaan patahan dari sel tunggal *SOFC* dan komponennya diperlihatkan dalam Gambar 3. Gambar tersebut menampilkan tiga lapis sel *SOFC* (katoda-elektrolit-anoda) dengan elektrolit yang padat dan elektroda yang berpori. Poles dan *etsa* metalografi belum berhasil dilakukan pada bahan ini

sebab bahan komposit mengandung karbonat yang lunak dan keramik yang keras cenderung untuk terlepas. Ketebalan katoda, elektrolit dan anoda mendekati nilai masing-masing 220 μm , 990 μm dan 250 μm . Gambar 3(b) memperlihatkan patahan permukaan dari elektrolit. Penelitian sebelumnya [15] melaporkan bahwa elektrolit *SDC7030* menghasilkan porositas yang terendah sebesar 2,92 % pada tekanan 200 MPa dan 600 $^{\circ}\text{C}$. Gambar 3(c) memperlihatkan permukaan patahan katoda. Daerah yang berwarna hitam dalam mikrograf menunjukkan porositas dalam sampel, dimana daerah berwarna abu-abu dan putih adalah masing-masing menunjukkan fasa *LSCF* dan *SDC* karbonat. Penelitian sebelumnya [18] menyatakan bahwa *LSCF-30SDC7030* mempunyai porositas optimum 24,82 % pada tekanan 37MPa dan 600 $^{\circ}\text{C}$. Ukuran partikel mendekati 97 nm dan 183 nm. Gambar 3(d) memperlihatkan permukaan patahan anoda. Daerah yang berwarna gelap dalam mikrograf menunjukkan porositas dalam sampel, dimana daerah berwarna abu-abu dan putih menunjukkan masing-masing fasa *NiO* dan *SDC* karbonat. Penelitian sebelumnya [19] menjelaskan bahwa komposit anoda *NiO-SDC7030* adalah sebagai anoda dengan porositas optimum 24,98 % pada 37 MPa dan 600 $^{\circ}\text{C}$, dengan ukuran partikel mendekati 85 nm hingga 123 nm.

Analisis Performa Elektrokimia

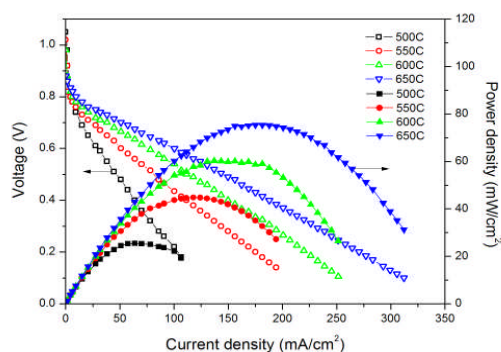
Sel tunggal *SOFC* diuji menggunakan sistem alat uji *SOFC*. Perak borosilikat digunakan sebagai bahan kedap sampel. Tiga jenis sel tunggal dikaji untuk membandingkan sifat elektrokimia katoda dan kesesuaian katoda dengan elektrolit. Ketiga struktur sel dijelaskan seperti Persamaan (1) hingga Persamaan (3).

H2; *NiO-SDC7030|SDC7030|70LSCF-30SDC7030*; Udara (1)

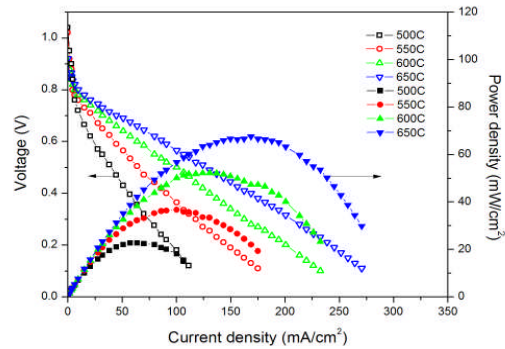
H2; *NiO-SDC7030|SDC7030|60LSCF-40SDC7030*; Udara (2)

H2; *NiO-SDC7030|SDC7030|50LSCF-50SDC7030*; Udara (3)

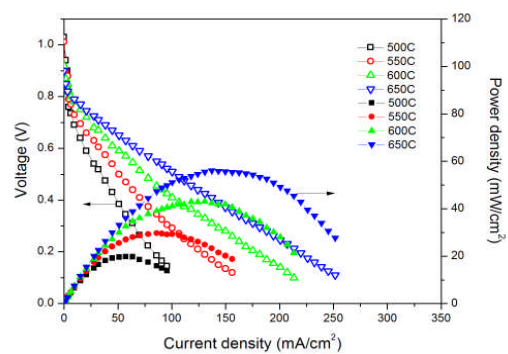
Performa elektrokimia *fuel cell* ditunjukkan pada Gambar 4 hingga Gambar 6. Untuk semua *fuel cell*, *Open Circuit Voltage (OCV)* menurun dengan meningkatnya suhu. Sebaliknya, keluaran daya perluas area (*power density*) untuk masing-masing sel meningkat dengan



Gambar 4. Karakterisasi I-V dan I-P sel tunggal (sel 1) pada suhu operasi 500 $^{\circ}\text{C}$, 550 $^{\circ}\text{C}$, 600 $^{\circ}\text{C}$ dan 650 $^{\circ}\text{C}$.



Gambar 5. Karakterisasi I-V dan I-P sel tunggal (sel 2) pada suhu operasi 500 $^{\circ}\text{C}$, 550 $^{\circ}\text{C}$, 600 $^{\circ}\text{C}$ dan 650 $^{\circ}\text{C}$.



Gambar 6. Karakterisasi I-V dan I-P sel tunggal (sel 3) pada suhu operasi 500 $^{\circ}\text{C}$, 550 $^{\circ}\text{C}$, 600 $^{\circ}\text{C}$ dan 650 $^{\circ}\text{C}$.

kenaikan suhu. Sifat elektrokimia tersebut adalah sama dengan *fuel cell* dengan elektrolit berfasa tunggal, seperti *terdoping* Serium [20]. Karakteristik I-V dan I-P yang ditunjukkan dalam gambar mengindikasikan bahwa *fuel cell* dengan komposit elektrolit *SDC* karbonat dan katoda berbasis *70LSCF-30SDC7030* menunjukkan performa yang terbaik pada 600 $^{\circ}\text{C}$ hingga 650 $^{\circ}\text{C}$. Daya perluas area tertinggi sebesar 75,33 mW/cm^2 dicapai pada 650 $^{\circ}\text{C}$. Dalam sistem *LT-SOFC*, daya perluas area tertinggi sebesar 60,26 mW/cm^2 dicapai pada 600 $^{\circ}\text{C}$ untuk katoda berbasis *70LSCF-30SDC7030* (sel 1).

Gambar 4 hingga Gambar 6 memperlihatkan bahwa kenaikan kandungan elektrolit dalam komposit katoda, performa elektrokimia menunjukkan kecenderungan menurun. Sedangkan penurunan suhu operasi menurunkan performa sel. Penambahan *SDC* karbonat kedalam komposit katoda dapat meningkatkan kesesuaian katoda. Namun demikian, performa *LT-SOFC* dipengaruhi oleh berkurangnya kehadiran konduktivitas ionik (dari elektrolit *SDC* karbonat) dalam komposit katoda.

KESIMPULAN

Komposit katoda *LSCF-SDC7030* dengan berbagai kandungan elektrolit yaitu 30 % berat, 40 % berat dan 50 % berat, diteliti sebagai material katoda untuk *LT-SOFC* dengan komposit elektrolit *SDC* karbonat. Merujuk kepada hasil pengujian performa elektrokimia sel, *70LSCF-30SDC7030* memperlihatkan performa tertinggi, diikuti dengan *60LSCF-40SDC7030* dan

50LSCF-50SDC7030. Oksida katoda 50LSCF-50SDC7030 lebih sesuai dengan komposit elektrolit SDC7030. Performa terbaik 75,33 mW/cm² dicapai pada suhu 650 °C. Pada sistem LT-SOFC, performa terbaik 60,26 mW/cm² dicapai pada suhu 600 °C. Kenaikan jumlah elektrolit SDC70300 dalam komposit katoda membuat ekspansi panas katoda mendekati elektrolit, sedangkan performa elektrokimianya menurun. Teknik *sintering* tanpa tekanan (*pressureless sintering*) adalah metode yang sesuai dan berpotensi untuk pembuatan komposit katoda.

DAFTAR ACUAN

- [1]. J. MOLEND, K. SWIERCZEK, W. ZAJAC, *J. Power Sources*, **173** (2) (2007) 657-670
- [2]. B.C.H. STEELE, *Journal of Materials Science*, **36** (2001) 1053-1068
- [3]. G.Y. MENG, Q.X. FU, S.W. ZHA, C.R. XIA, X.Q. LIU and D.K. PENG, *Solid State Ionics*, **148** (2002) 533-537
- [4]. B. ZHU, *J. Power Sources*, **114** (2003) 1-9
- [5]. B. ZHU, X.T. YANG, J. XUA, Z.G. ZHU, S.J. JI, M.T. SUN and J.C. SUN, *J. Power Sources*, **118** (2003) 47-53
- [6]. A. BOD'EN, J. DI, C. LAGERGREN, G. LINDBERGH and C.Y. WANG, *J. Power Sources*, **172** (2007) 520-529
- [7]. M.D. MAT, X. LIU, Z. ZHU and B. ZHU, *Int. J. Hydrogen Energy*, **32** (2007) 796-801
- [8]. R. RAZA, X. WANG, Y. MA, X. LIU and B. ZHU, *Int. J. Hydrogen Energy*, **35** (7) (2010) 2684-2688
- [9]. J. HUANG, Z. MAO, Z. LIU and C. WANG, *J. Power Sources*, **175** (2008) 238-243
- [10]. M.D. MAT, X. LIU, Z. ZHU and B. ZHU, *Int. J. Hydrogen Energy*, **32** (2007) 796-801
- [11]. X. SUN, S. LI, J. SUN, X. LIU and B. ZHU, *International Journal Electrochemical Science*, **2** (2007) 462-468
- [12]. M. GHOUSE, Y. AL-YOUSEF, A. AL-MUSA, M.F. AL-OTAIBI, *Int. J. Hydrogen Energy*, **35** (17) (2010) 9411-9419
- [13]. B. ZHU, S. LI and B.E. MELLANDER, *Electrochemistry Communications*, **10** (2008) 302-305
- [14]. J. LIU, A.C. CO, S. PAULSON and V. IBIRSS, *Solid State Ionics*, **177** (2006) 377-387
- [15]. J. RAHARJO, A. MUCHTAR, W.R.W. DAUD, N. MUHAMAD and E.H. MAJLAN, *Key Engineering Material*, **447-448** (2010) 666-670
- [16]. R. JAROT, M. ANDANASTUTI, W.D. WAN RAMLI, M. NORHAMIDI and H.M. EDY, *Applied Mechanics and Materials*, **52-54** (2011) 488-493
- [17]. A.H. NOORASHRINA, M. ANDANASTUTI, W.D. WAN RAMLI and M. NORHAMIDI, *Sains Malaysiana*, **38** (6) (2009) 857-861
- [18]. J. RAHARJO, A. MUCHTAR, W.R.W. DAUD, N. MUHAMAD and E.H. MAJLAN, *Key Engineering Material*, **471-472** (2011) 179-184
- [19]. J. RAHARJO, A. MUCHTAR, W.R.W. DAUD, N. MUHAMAD and E.H. MAJLAN, *Applied Mechanics and Materials*, **52-54** (2011) 488-493
- [20]. K.R. MARCIN and R.T. BAKER, *J. Power Sources*, **196** (5) (2011) 2498-2512