

**ANALISIS DAN KARAKTERISTIK ELEKTROLIT PADAT
La-Gd *DOPED* CeO₂ (LGDC) UNTUK APLIKASI
INTERMEDIATE TEMPERATURE SOLID OXIDE FUEL CELL
(IT-SOFC)**

TUGAS AKHIR

**THIA THERESIA
123.13.027**



**PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
FAKULTAS TEKNIK DAN DESAIN
INSTITUT TEKNOLOGI DAN SAINS BANDUNG
KOTA DELTAMAS
AGUSTUS 2017**

**ANALISIS DAN KARAKTERISTIK ELEKTROLIT PADAT
La-Gd *DOPED* CeO₂ (LGDC) UNTUK APLIKASI
INTERMEDIATE TEMPERATURE SOLID OXIDE FUEL CELL
(IT-SOFC)**

TUGAS AKHIR

**THIA THERESIA
123.13.027**

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material



**PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
FAKULTAS TEKNIK DAN DESAIN
INSTITUT TEKNOLOGI DAN SAINS BANDUNG
KOTA DELTAMAS
AGUSTUS 2017**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Thia Theresia

NIM : 123.13.027

Tanda Tangan :

Tanggal : 11 Agustus 2017

**ANALISIS DAN KARAKTERISTIK ELEKTROLIT PADAT
La-Gd *DOPED* CeO₂ (LGDC) UNTUK APLIKASI
INTERMEDIATE TEMPERATURE SOLID OXIDE FUEL CELL
(IT-SOFC)**

TUGAS AKHIR

**THIA THERESIA
123.13.027**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material

Menyetujui,

Kota Deltamas, 11 Agustus 2017

Pembimbing I

Pembimbing II

**Prof. Ir. Syoni Soepryanto, M.Sc., Ph.D.
NIP. 195203181976031001**

**Yesi Aristanti, S.Si., M.T.
NIP. 19880622201602499**

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Metalurgi dan Material

**Dr.Eng. Akhmad Ardian Korda, S.T., M.T.
NIP. 197412042008011011**

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Program Studi Teknik Metalurgi dan Material, Institut Teknologi dan Sains Bandung. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Tugas Akhir ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Ir. Syoni Soepriyanto, M.Sc., Ph.d selaku dosen pembimbing dan dosen wali yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Eng. Akhmad Ardian Korda, S.T., M.T selaku ketua program studi Teknik Metalurgi dan Material ITSB yang telah memberikan saran dan masukan kepada saya dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Dr. Bambang Prijamboedi, Ph.D selaku dosen FMIPA ITB yang telah banyak membantu saya dalam melakukan pengujian konduktivitas ionik.
4. Yesi Aristanti, S.Si., M.T selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Dosen-dosen Pengajar Teknik Metalurgi dan Material ITSB yang selama ini telah berkenan meluangkan waktunya untuk memberikan ilmu kepada saya dan teman-teman.
6. Pak Ari, Pak Fajar, Kak Nani yang telah membantu saya dalam memberikan dukungan dan saran dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
7. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral.
8. Teman-teman Teknik Metalurgi dan Material ITSB 2013 diantaranya Nurahmah, Septian, Vijja, Sastro, Iqbal, Salman, Paris, Icha, Isma, Gilang, Intan, Gusbahri, Fadly, Nico, Nindi, Titis, Bella, Surya, Nisa, Fahmi, Lita, Desri, Sulthon, Eva, Akmal, dan Gustama yang telah memberikan banyak

kenangan selama masa perkuliahan, serta do'a dan dukungannya selama penyusunan Tugas Akhir ini.

9. Teman-teman HIMATAMA ITSB dan KM ITSB yang telah memberikan banyak kenangan selama masa perkuliahan dan berorganisasi, serta do'a dan dukungannya dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
10. Segenap keluarga Kantin Hijau Lestari yang telah banyak membantu, mendukung, dan mendoakan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Kota Deltamas, 11 Agustus 2017

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Institut Teknologi dan Sains Bandung, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Thia Theresia
NIM : 123.13.027
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik dan Desain
Jenis Karya : Tugas Akhir

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Institut Teknologi dan Sains Bandung **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

“Analisis dan Karakteristik Elektrolit Padat La-Gd *Doped* CeO₂ (LGDC) untuk Aplikasi *Intermediate Temperature Solid Oxide Fuel Cell* (IT-SOFC)”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Institut Teknologi dan Sains Bandung berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Tugas Akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Kota Deltamas
Pada Tanggal : 11 Agustus 2017

Yang menyatakan

(Thia Theresia)

ABSTRAK

Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) merupakan salah satu teknologi yang paling menjanjikan dari sel bahan bakar. SOFC memiliki potensi besar untuk menjadi teknologi yang bersih, efisien, dan fleksibel dalam mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik. Temperatur operasi SOFC yang tinggi (1000 °C) merupakan kekurangan yang menghambat komersialisasi SOFC. Ceria menjadi basis yang berpotensi untuk menjadi material elektrolit padat yang bekerja pada temperatur menengah (400-700 °C). Penelitian untuk mendapatkan material elektrolit padat untuk aplikasi IT-SOFC sedang dalam perkembangan.

Dalam penelitian ini, La-Gd *doped* Ceria (LGDC) atau Ceria yang *didoping* dengan Lanthania (La_2O_3) dan Gadolinia (Gd_2O_3) dibuat dengan variasi persen mol Gd_2O_3 yaitu 0%, 10%, 15%, dan 20%. Preparasi serbuk menggunakan *dry mixing* dan dikompaksi dengan tekanan 40 kN menghasilkan sampel berbentuk *pellet* yang memiliki diameter 0,8 cm. Sampel tersebut kemudian disintering dengan variasi temperatur 1200 °C, 1300 °C, dan 1400 °C serta waktu penahanan 3, 4, dan 5 jam untuk mempelajari karakteristik sintering dan sifat mekanik yang berhubungan dengan konduktivitas ionik sebagai material elektrolit padat IT-SOFC.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan temperatur sintering, waktu sintering, dan penambahan persen mol Gd_2O_3 meningkatkan nilai densifikasi. Nilai densifikasi tertinggi pada sampel dengan komposisi 20% mol Gd_2O_3 dengan temperatur sintering 1400 °C dan waktu sintering 5 jam yaitu sebesar 50,26%. Nilai kekerasan meningkat seiring meningkatnya densifikasi. Semakin banyak Gd_2O_3 yang ditambahkan maka nilai konduktivitas ionik juga semakin meningkat. Nilai konduktivitas ionik tertinggi terdapat pada sampel dengan komposisi 20% mol Gd_2O_3 yaitu sebesar 0,0634 S/cm pada temperatur operasi 600 °C. Hubungan antara konduktivitas ionik dengan temperatur dinyatakan dengan nilai energi aktivasi. Sampel dengan konduktivitas ionik tertinggi memiliki nilai energi aktivasi sebesar 0,54 eV.

KATA KUNCI : IT-SOFC, elektrolit padat, LGDC, konduktivitas ionik

ABSTRACT

The Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) is one of the most promising fuel cell technologies. SOFC tech has great potential to be the cleanest, most efficient, and flexible technology for the conversion of chemical to electrical energy. SOFC operating temperature is high (1000 °C) that makes serious deficiency and inhibits commercial scale of SOFC. Ceria-based is a great solid electrolyte materials for Intermediate Temperature (400-700 °C) Solid Oxide Fuel Cell (IT-SOFC). Research to gain a solid electrolyte material for IT-SOFC application recently in development.

In this study, La-Gd doped Ceria (LGDC) which doped 0, 10, 15, 20 mol % Gd₂O₃. Powder preparation was used dry mixing method compacted which a pressure of 40 kN and was produced pellet-shaped samples with a diameter of 0,8 cm. The samples were sintered at 1200 °C, 1300 °C, and 1400 °C for 3, 4, and 5 hours to study the characteristics of sintering, and mechanical properties in conjunction with ionic conductivity as solid electrolyte materials for IT-SOFC.

The experimental results showed that increasing sintering temperature, sintering time, and increase value mol % Gd₂O₃ densification. The highest value in the sample densification with the composition 20 mol % Gd₂O₃ at 1400 °C and sintering time of 5 hours is equal to 50,26%. Hardness value increases with increase densification. The more Gd₂O₃ were added, increasing the value of ionic conductivity. The highest ionic conductivity values found in the samples with the composition of 20% mol Gd₂O₃ is equal to 0,0634 S/cm at 600 °C. Relationship between ionic conductivity and temperature can be expressed by the value of energy activation. Sample with the highest ionic conductivity has value energy activation is equal to 0,54 eV.

KEYWORDS : *IT-SOFC, solid electrolytes, LGDC, ionic conductivity*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	Error! Bookmark not defined.
1.1 Latar Belakang.....	Error! Bookmark not defined.
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.4 Metodologi Penelitian.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Perkembangan Konversi Energi.....	6
2.1.1 Konversi Energi Kimia menjadi Energi Listrik.....	7
2.1.2 Efisiensi Konversi Energi dari <i>Fuel Cell</i>	7
2.2 <i>Solid Oxide Fuel Cell</i> (SOFC).....	8
2.2.1 Prinsip Kerja SOFC.....	9
2.2.2 Perkembangan Elektrolit Padat SOFC.....	10
2.2.3 Karakteristik Elektrolit Padat La-Gd <i>Doped</i> CeO ₂ (LGDC).....	11
2.3 Analisa Sintering.....	12
2.3.1 Densifikasi.....	13
2.3.2 Mekanisme Penyusutan Linier.....	15
2.4 Konduktivitas Ionik dan Energi Aktivasi.....	16
2.4.1 <i>Defect</i> pada Keramik.....	16
2.4.2 Mekanisme Konduktivitas Ionik.....	17
2.4.3 Hubungan <i>Defect</i> terhadap Konduktivitas Ionik dan Energi Aktivasi.....	18
2.5 Variasi Persen Mol Dopan pada Elektrolit Padat LDC dan GDC.....	18
2.4.1 Pengaruhnya terhadap Nilai Konduktivitas Ionik.....	19
2.4.2 Pengaruhnya terhadap Energi Aktivasi.....	19
BAB III PROSEDUR DAN HASIL PERCOBAAN.....	20
3.1 Alat dan Bahan.....	20
3.2 Prosedur Percobaan.....	21
3.3 Preparasi dan Kompaksi.....	23
3.3.1 Preparasi Serbuk.....	23
3.3.2 Kompaksi Kering.....	24

3.4	Tahapan Sintering	25
3.5	Pengujian Konduktivitas Ionik.....	26
3.6	Analisis Sampel.....	27
	3.6.1 Penyusutan Linier dan Densifikasi.....	27
	3.6.2 Analisis Struktur Mikro	27
	3.6.3 Analisis Fasa yang Terbentuk	27
	3.6.4 Analisis Kekerasan.....	27
	3.6.5 Pengukuran Uji Konduktivitas Ionik dan Energi Aktivasi	28
3.7	Hasil Percobaan.....	28
	3.7.1 Hasil Pengukuran Densifikasi	28
	3.7.2 Hasil Uji Kekerasan	30
	3.7.3 Hasil Uji Ukuran Kristal dan Parameter Kisi.....	30
	3.7.4 Hasil Uji <i>X-Ray Diffraction</i>	30
	3.7.5 Hasil Uji Konduktivitas Ionik dan Energi Aktivasi	30
BAB IV PEMBAHASAN.....		31
4.1	Analisis Karakteristik Sintering	31
	4.1.1 Mekanisme Perpindahan Massa.....	31
	4.1.2 Analisis Penyusutan Linier	34
	4.1.3 Analisis Pengaruh Densifikasi terhadap Nilai Kekerasan.....	35
	4.1.4 Analisis Pengaruh Densifikasi terhadap Konduktivitas Ionik	37
4.2	Analisis Hasil <i>X-Ray Diffraction</i>	40
4.3	Pengaruh Persen Rasio Mol Dopan terhadap Konduktivitas Ionik.....	42
4.4	Pengaruh Temperatur Operasi terhadap Konduktivitas Ionik.....	46
4.5	Hubungan Konduktivitas Ionik dengan Energi Aktivasi	53
4.6	Analisis Hasil SEM-EDS	56
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		58
5.1	Kesimpulan	58
5.2	Saran.....	58
DAFTAR PUSTAKA		59
LAMPIRAN.....		60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan sel bahan bakar.....	9
Tabel 2.2 Mekanisme pertumbuhan leher.....	14
Tabel 2.3 Mekanisme penyusutan linier.....	15
Tabel 3.1 Komposisi campuran serbuk.....	23
Tabel 3.2 Program sintering.....	25
Tabel 3.3 Nilai pengukuran densifikasi.....	29
Tabel 3.4 Nilai uji kekerasan.....	30
Tabel 3.5 Ukuran kristal dan parameter kisi LGDC 20% mol Gd_2O_3 - 5 jam.....	30
Tabel 4.1 Nilai n pertumbuhan leher.....	33
Tabel 4.2 Analisis EDS sampel LGDC 20% mol Gd_2O_3	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Metodologi penelitian	4
Gambar 2.1 Efisiensi konversi energi	8
Gambar 2.2 Skematik proses SOFC.....	10
Gambar 2.3 Ceria <i>didoping</i> gadolinia dan lanthania (A = Gd, La).....	11
Gambar 2.4 (a) Butiran sebelum sintering	12
Gambar 2.4 (b) Awal pembentukan dan pertumbuhan leher	12
Gambar 2.5 Pori-pori silinder (saluran kontinyu)	13
Gambar 2.6 Berakhirnya fase pori	13
Gambar 2.7 Pendekatan dua titik pusat bola akibat mekanisme densifikasi.....	15
Gambar 2.8 <i>Defect</i> stoikiometrik	17
Gambar 3.1 Diagram alir prosedur percobaan	22
Gambar 3.2 <i>Dies</i> dan <i>punch</i> yang digunakan.....	24
Gambar 3.3 Mesin kompaksi uni-aksial.....	24
Gambar 3.4 <i>High temperature tube furnace</i>	25
Gambar 3.5 Program sintering yang dilakukan.....	26
Gambar 3.6 Rangkaian uji konduktivitas ionik	28
Gambar 4.1 Mekanisme perpindahan massa.....	32
Gambar 4.2 Pengaruh densifikasi terhadap nilai kekerasan.....	36
Gambar 4.3 Pengaruh densifikasi terhadap nilai konduktivitas ionik.....	40
Gambar 4.4 (a) Difraktogram hasil XRD sampel LGDC	41
Gambar 4.4 (b) Difraktogram sampel GDC Oksuzomer dkk, 2013 (kiri) dan sampel LDC Jaiswal dkk, 2013 (kanan).....	41
Gambar 4.5 Pengaruh penambahan % mol Gd_2O_3 terhadap konduktivitas ionik.	45
Gambar 4.6 Pengaruh temperatur terhadap konduktivitas ionik.....	50
Gambar 4.7 Rangkaian listrik ekuivalen yang diusulkan.....	51
Gambar 4.8 <i>Nyquist plot</i> impedansi imajiner terhadap impedansi real 20% mol.	51
Gambar 4.9 <i>Nyquist plot</i> impedansi imajiner terhadap impedansi real 350°C	52
Gambar 4.10 Hubungan $\ln \sigma$ dengan $1000/T$	55
Gambar 4.11 Hasil SEM sampel LGDC 20% mol Gd_2O_3 pada T_s 1300 °C	56
Gambar 4.12 Hasil SEM sampel LGDC 20% mol Gd_2O_3 pada T_s 1400 °C	57

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A Perhitungan Komposisi Sampel	61
LAMPIRAN B Hasil Percobaan	62
LAMPIRAN C Pembuatan Elektrolit Padat	67
LAMPIRAN D Penurunan Rumus Analisis Penyusutan Linier	69
LAMPIRAN E Aliran Impedansi Pengukuran Sampel pada <i>Z-View</i>	70
LAMPIRAN F Pola Difraktogram Hasil Pengujian XRD	85