

No. Dok: 4902.

Copy: 1

D
bb1.1
Fat
0

**LAPORAN TUGAS AKHIR PENELITIAN
OPTIMASI PROSES SINTERING ELEKTROLIT
GADOLINIUM *DOPED* CERIUM (GDC) UNTUK
PEMBUATAN *SYMMETRIC CELLS* GADOLINIUM *DOPED*
CERIUM /LANTHANUM STRONTIUM COBALT FERRITE
(GDC/LSCF-GDC)
DI PUSAT TEKNOLOGI MATERIAL-BPPT
(1 Maret 2017 – 30 April 2017)**

Diajukan sebagai salah satu syarat penyelesaian akademik
Program Studi Teknik Kimia Polimer pada Politeknik STMI Jakarta



OLEH:

RIDHA FATURACHMI

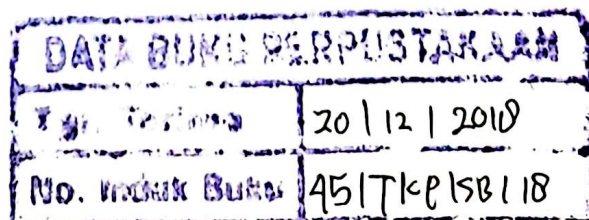
1513015

WISNU YAN PURNOMO

1513035

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER
POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN REPUBLIK INDONESIA**

2017



POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN REPUBLIK INDONESIA
LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG

JUDUL LAPORAN TUGAS AKHIR

OPTIMASI PROSES SINTERING ELEKTROLIT GDC UNTUK PEMBUATAN
SYMMETRIC CELLS GDC/LSCF-GDC

DISUSUN OLEH:

NAMA : RIDHA FATURACHMI
WISNU YAN PURNOMO
NIM : 1513015
1513035

PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Telah diuji oleh Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Program Studi Teknik Kimia Polimer pada Politeknik STMI Jakarta pada November 2017.

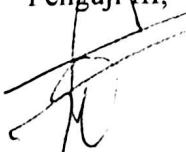
Jakarta, November 2017

Penguji I,



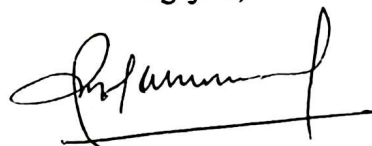
Sakri Widhianto, S.Teks, MM.
NIP. 195303171978031001

Penguji III,



Dr. Erfina Oktariani, ST., MT.
NIP. 198210012014022001

Penguji II,



Ir. Parulian Leonard M., MM.
NIP. 195702141985031002

Pembimbing,



Ir. Roosmariharso, MBA
NIP. 195405231980031004

POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

JUDUL PENELITIAN:

OPTIMASI PROSES SINTERING ELEKTROLIT GDC UNTUK
PEMBUATAN *SYMMETRIC CELLS* GDC/LSCF-GDC

DISUSUN OLEH:

NAMA : RIDHA FATURACHMI
WISNU YAN PURNOMO

NIM : 1513015
1513035

PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Telah diperiksa dan disetujui sebagai salah satu syarat penyelesaian akademik
Program Studi Teknik Kimia Polimer pada Politeknik STMI Jakarta.

Jakarta, Agustus 2017

Dosen Pembimbing I



Ir. Roosmariharso, MBA
NIP. 19540523.198003.1.004

Dosen Pembimbing II



Fitria Ika Aryanti, S.T, M.Eng
NIP. 19850511.201402.2.001

Menyetujui,

Ketua Program Studi
Teknik Kima Polimer



Ir. Roosmariharso, MBA
NIP. 19540523.198003.1.004

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING PENELITIAN

JUDUL PENELITIAN

OPTIMASI PROSES SINTERING ELEKTROLIT GDC UNTUK
PEMBUATAN *SYMMETRIC CELLS* GDC/LSCF-GDC

DISUSUN OLEH:

NAMA : RIDHA FATURACHMI
WISNU YAN PURNOMO

NIM : 1513015
1513035

PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Tangerang Selatan, Juli 2017

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing



Dr. Ir. Jarot Raharjo, M.Sc
NIP. 19710315.199603.1.003

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Kami Mahasiswa Program Studi Teknik Kimia Polimer, Politeknik STMI Jakarta,
Kementerian Perindustrian Republik Indonesia:

Nama : Ridha Faturachmi
NIM : 1513015
Program Studi : Teknik Kimia Polimer

Dengan ini menyatakan bahwa hasil karya Tugas Akhir Penelitian yang kami buat dengan judul:

OPTIMASI PROSES SINTERING ELEKTROLIT GDC UNTUK PEMBUATAN *SYMMETRIC CELLS* GDC/LSCF-GDC

- Dibuat dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan literatur hasil kuliah, survei lapangan, bimbingan dengan dosen pembimbing dan pembimbing penelitian, melalui Tanya jawab maupun asistensi serta buku-buku jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada karya tulis Tugas Akhir Penelitian ini.
- Bukan merupakan duplikasi yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas/Perguruan Tinggi lain, kecuali pada bagian-bagian tertentu digunakan referensi pendukung untuk melengkapi informasi dan sumber informasi dengan dicantumkan melalui referensi yang semestinya.
- Bukan merupakan karya tulis terjemahan dari kumpulan buku atau jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada karya Tugas Akhir Penelitian kami.

Jika terbukti kami tidak memenuhi apa yang telah kami nyatakan seperti apa yang diatas, maka karya Tugas Akhir Penelitian kami ini dibatalkan.

Jakarta, Juli 2017

Yang Membuat Pernyataan



Ridha Faturachmi

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Kami Mahasiswa Program Studi Teknik Kimia Polimer, Politeknik STMI Jakarta,
Kementerian Perindustrian Republik Indonesia:

Nama : Wisnu Yan Purnomo

NIM : 1513035

Program Studi : Teknik Kimia Polimer

Dengan ini menyatakan bahwa hasil karya Tugas Akhir Penelitian yang kami buat
dengan judul:

OPTIMASI PROSES SINTERING ELEKTROLIT GDC UNTUK PEMBUATAN *SYMMETRIC CELLS* GDC/LSCF-GDC

- Dibuat dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan literatur hasil kuliah, survei lapangan, bimbingan dengan dosen pembimbing dan pembimbing penelitian, melalui Tanya jawab maupun asistensi serta buku-buku jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada karya tulis Tugas Akhir Penelitian ini.
- Bukan merupakan duplikasi yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas/Perguruan Tinggi lain, kecuali pada bagian-bagian tertentu digunakan referensi pendukung untuk melengkapi informasi dan sumber informasi dengan dicantumkan melalui referensi yang semestinya.
- Bukan merupakan karya tulis terjemahan dari kumpulan buku atau jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada karya Tugas Akhir Penelitian kami.

Jika terbukti kami tidak memenuhi apa yang telah kami nyatakan seperti apa yang diatas, maka karya Tugas Akhir Penelitian kami ini dibatalkan.

Jakarta, Juli 2017

Yang Membuat Pernyataan



Wisnu Yan Purnomo



Nomor : 036 /SJ-IND.7.2/IV/2017 Jakarta, 12 April 2017
Lampiran : 1 (satu)
Perihal : Penugasan Proses : Kepada
Bimbingan Tugas Akhir Yth. Bapak Ir. Roosmariharso, MBA
Tahun Akademik 2016/2017 Di Jakarta

Berdasarkan Keputusan Direktur Politeknik STMI Jakarta Nomor 26/SJ-IND.7.2 /SK/1/2017 tanggal 10 Januari 2017 tentang pengangkatan Dosen Pembimbing dan Asisten Dosen Pembimbing Tugas Akhir Politeknik STMI Jakarta Tahun Akademik 2016/2017, maka dengan ini kami mengharap bantuan Bapak untuk dapat memberikan bimbingan dalam penulisan / penyusunan Tugas Akhir kepada mahasiswa yang namanya tersebut di bawah ini:

Nama : Ridha Faturachmi
No. Induk : 1513015

Adapun judul Tugas Akhir yang bersangkutan berdasarkan proposal yang terdaftar adalah:

" Pembuatan Sel Simetrik LSCF-GDC . "

Demikian surat penugasan ini disampaikan. Atas perhatian dan bantuan Bapak kami ucapkan terima kasih.

Direktur



Dr. Mustofa, ST, MT

NIP. 19700924 200312 1 001

Tembusan:

1. Pudir 1;
2. Ka Prodi TKP;
3. Mahasiswa yang bersangkutan;
4. Peringgal



Nomor : 037/SJ-IND.7.2/IV/2017
Lampiran : 1 (satu)
Perihal : Penugasan Proses
Bimbingan Tugas Akhir
Tahun Akademik 2016/2017

Jakarta, 12 April 2017

Kepada
Yth. Bapak Ir. Roosmariharso, MBA
Di Jakarta

Berdasarkan Keputusan Direktur Politeknik STMI Jakarta Nomor 26/SJ-IND.7.2/SK/1/2017 tanggal 10 Januari 2017 tentang pengangkatan Dosen Pembimbing dan Asisten Dosen Pembimbing Tugas Akhir Politeknik STMI Jakarta Tahun Akademik 2016/2017, maka dengan ini kami mengharap bantuan Bapak untuk dapat memberikan bimbingan dalam penulisan / penyusunan Tugas Akhir kepada mahasiswa yang namanya tersebut di bawah ini:

Nama : Wisnu Yan Pumomo
No. Induk : 1513035

Adapun judul Tugas Akhir yang bersangkutan berdasarkan proposal yang terdaftar adalah:

" Pembuatan Sel Simetrik LSCF-GDC. "

Demikian surat penugasan ini disampaikan. Atas perhatian dan bantuan Bapak kami ucapkan terima kasih.


Direktur
Dr. M. Istofa, ST, MT
NIP. 19700924 200312 1 001

Tembusan:

1. Pudir 1;
2. Ka Prodi TKP;
3. Mahasiswa yang bersangkutan;
4. Pertinggal

LEMBAR BIMBINGAN PENYUSUNAN TUGAS AKHIR PENELITIAN

Nama : Ridha Faturachmi 1513015

Wisnu Yan Purnomo 1513035

Judul TA Penelitian : Optimasi Proses Sintering Elektrolit GDC untuk Pembuatan
symmetric cells GDC/LSCF-GDC

Pembimbing : Ir. Roosmariharso, MBA & Fitria Ika Aryanti, S.T, M.Eng

Tanggal	BAB	Keterangan	Paraf
06/04/2017	-	Konsultasi judul penelitian dan metodologi penelitian	f
13/04/2017	-	Konsultasi pengujian sampel	f
04/05/2017	I dan II	Perbaiki rumusan masalah dan tinjauan pustaka	f
09/05/2017	III	ACC Bab I & II, perbaiki diagram alir penelitian di Bab III	f
06/07/2017	IV	ACC Bab III, perbaiki penyebaran hasil dan analisa pengujian	f
28/07/2017	V	ACC Bab IV & V, perbaiki penulisan daftar pustaka	f
01/08/2017	Daftar Pustaka	ACC daftar pustaka, perbaiki ppt seminar	f
02/08/2017		ACC ppt seminar (pembimbing II)	f
03/08/2017		Perubahan diagram alir penelitian (metodologi) dan sedikit perbaiki ppt seminar (pembimbing I)	
09/08/2017		ACC Laporan dan ppt seminar (pembimbing I)	

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Ir. Roosmariharso, MBA

NIP. 19540523.198003.1.004

Fitria Ika Aryanti, S.T, M.Eng

NIP. 19850511.201402.2.001

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Teknik Kimia Polimer



Ir. Roosmariharso, MBA

NIP. 19540523.198003.1.004



Nomor : *SS8* /SJ-IND.7.2/XII/2016
Lampiran :
Perihal : **Pemohonan Penelitian**

Jakarta, 15 Desember 2016

Kepada
Yth. Bapak/Ibu Pimpinan
Direktur Pusat Teknologi Material-BPPT
Gedung 224, Kawasan Puspitek Tangerang
Selatan

Dalam rangka menambah wawasan dan mengaplikasikan teori yang didapat Mahasiswa/i di Politeknik STMI Jakarta, Kementerian Perindustrian RI, dengan ini memohon bantuan Bapak/Ibu agar bersedia menerima mereka yang namanya tersebut di bawah ini untuk melakukan Penelitian di Perusahaan/Instansi yang Bapak/Ibu pimpin selama kurang lebih 2(dua) bulan.

Adapun nama mahasiswa/i yang akan melakukan Penelitian adalah:

No.	Nama	NIM	Kompetensi yang diharapkan
1.	Ridha Faturachmi	1513015	Proses Produksi

Dalam pelaksanaannya kami mengharapkan bantuan bimbingan Bapak/Ibu agar mahasiswa/i kami dapat melakukannya dengan baik. Untuk selanjutnya kompetensi yang diperoleh dari hasil bimbingan Bapak/Ibu akan dipresentasikan dan mudah-mudahan dapat bermanfaat bagi perusahaan

Demikian atas bantuan dan kerjasama Bapak/Ibu, kami ucapkan terima kasih.

Pembantu Direktur I Bidang Akademik,



[Signature]
Dr. Rizky Kramanandita, S.Kom, MT

NIP. 19740302 200212 1 001

Tembusan:

1. Direktur STMI;
2. Ka Prodi TKP;
3. Mahasiswa yang bersangkutan;
4. Peninggal



Nomor : 557 /SJ-IND.7.2/XII/2016
Lampiran :
Perihal : **Pemohonan Penelitian**

Jakarta, 15 Desember 2016

Kepada
Yth. Bapak/Ibu Pimpinan
Direktur Pusat Teknologi Material-BPPT
Gedung 224, Kawasan Puspitek Tangerang
Selatan

Dalam rangka menambah wawasan dan mengaplikasikan teori yang didapat Mahasiswa/i di Politeknik STMI Jakarta, Kementerian Perindustrian RI, dengan ini memohon bantuan Bapak/Ibu agar bersedia menerima mereka yang namanya tersebut di bawah ini untuk melakukan Penelitian di Perusahaan/Instansi yang Bapak/Ibu pimpin selama kurang lebih 2(dua) bulan.

Adapun nama mahasiswa/i yang akan melakukan Penelitian adalah:

No.	Nama	NIM	Kompetensi yang diharapkan
1.	Wisnu Yan Purnomo	1513035	Proses Produksi

Dalam pelaksanaannya kami mengharapkan bantuan bimbingan Bapak/Ibu agar mahasiswa/i kami dapat melakukannya dengan baik. Untuk selanjutnya kompetensi yang diperoleh dari hasil bimbingan Bapak/Ibu akan dipresentasikan dan mudah-mudahan dapat bermanfaat bagi perusahaan

Demikian atas bantuan dan kerjasama Bapak/Ibu, kami ucapkan terima kasih.

Pembantu Direktur I Bidang Akademik,



Dr. Rizki Khamandita, S.Kom, MT

NIP: 19740302 200212 1 001

Tembusan:

1. Direktur STMI;
2. Ka Prodi TKP;
3. Mahasiswa yang bersangkutan;
4. Peringgal



BADAN PENGKAJIAN DAN PENERAPAN TEKNOLOGI

Pusat Teknologi Material

Gedung 224 Kawasan Puspittek, Tangerang Selatan, 15314 Banten
Telepon (021) 7579-1324, Faksimile (021)7579-1327, Website <http://www.bppt.go.id>

Nomor : B-05/PTM/BPPT/SD/01/2016

Tangerang Selatan, 5 Januari 2017

Lampiran :-

Hal : Permohonan Penelitian

Yth. Ketua Program Studi Teknik Kimia Polimer
POLITEKNIK STMI
Di JAKARTA

Menindaklanjuti surat dari Ketua Program Studi Teknik Kimia Polimer POLITEKNIK STMI JAKARTA NO. 215/TKP-PSTMI/12/2016 Tanggal 28 Desember 2016 Perihal Permohonan Penelitian dengan ini Direktur Pusat Teknologi Material (PTM) - Badan Pengkajian Penerapan Teknologi (BPPT) memberikan ijin kepada mahasiswa sbb:

No	Nama	NIM	Riset	Pembimbing
1.	Ridha Faturachmi	1513015	Pengembangan Material Untuk Aplikasi Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)	Dr. Jarot Raharjo
2.	Wisnu Yan Purnomo	1513035		

Untuk Melaksanakan Kerja Praktek di Pusat Teknologi Material pada bulan Maret s/d April 2017, dengan mentaati semua peraturan di PTM yang berupa:

- Kehadiran pada jam 07.30 – 16.00
- Memberikan Laporan dan bentuk BHP per hari
- Memberikan rangkuman laporan kerja praktek pada hari terakhir pelaksanaan kerja praktek.

Demikian disampaikan, atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terima kasih.

Direktur Pusat Teknologi Material



Dr. Asep Riswoko, B.Eng. M.Eng.



KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir Penelitian ini tepat pada waktunya. Penulisan Laporan Tugas Akhir Penelitian ini dilakukan untuk diajukan sebagai salah satu syarat penyelesaian akademik Program Studi Teknik Kimia Polimer pada Politeknik STMI Jakarta. Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Laporan Tugas Akhir Penelitian ini. Oleh karena itu, kami mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, atas berkat dan rahmat-Nya.
2. Orang tua penulis yang telah memberikan dukungan secara moril dan materil.
3. Dr. Mustofa, S.T, M.T, selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta.
4. Ir. Roosmariharso, MBA, selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta dan selaku dosen pembimbing I penelitian, lalu Fitria Ika Aryanti, S.T, M.Eng selaku dosen pembimbing II yang bersedia meluangkan waktu untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
5. Dr. Asep Riswoko, B. Eng, M.Eng selaku Direktur Pusat Teknologi Material yang sudah memberikan kesempatan pada penulis untuk melaksanakan penelitian tugas akhir di PTM-BPPT selama dua bulan.
6. Dr. Ir. Jarot Raharjo, M.Sc , selaku pembimbing lapangan penelitian di PTM-BPPT yang telah memberikan ilmu, arahan dan masukan dalam melaksanakan penelitian.
7. Mba Novita Ami, Mba Damisih, Mas Lukmana dan para pegawai di PTM-BPPT yang telah banyak membantu penulis selama masa penelitian.
8. Teman-teman kelompok bimbingan Pak Jarot selama penelitian di PTM-BPPT yaitu Indah K, Putri H, Lestari C, Maisa Ulfa, dan Ka Windi yang selalu menyemangati, dan membantu penulis menemukan solusi dalam penelitian dan menyelesaikan laporan ini.

9. Sahabat-sahabat tersayang penulis yaitu Kidung Wulan Utami, Ersya Yarizsa, Nashiha Sakina, Ike Ayu Ningsih yang selalu membantu dan memberikan solusi disaat penulis mengalami kesulitan menulis laporan.
10. Teman- teman TKI KA01 2013 yang selalu memberi dukungan dan semangat untuk penulis

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Laporan Tugas Akhir Penelitian ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Jakarta, Juli 2017

Penulis

ABSTRAK

Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) merupakan salah satu sel bahan bakar yang menggunakan keramik dan Logam Tanah Jarang (LTJ) sebagai material utama. Dalam penggunaannya, SOFC memiliki kekurangan yaitu kondisi temperatur operasi tinggi (800°C-1000°C), maka dari itu saat ini sedang dikembangkan material SOFC yang dapat beroperasi di suhu menengah (500°C-800°C) dengan performa yang bagus. GDC/LSCF-GDC merupakan salah satu kandidat sel simetrik yang diyakini dapat diaplikasikan untuk SOFC suhu menengah. Tujuan penelitian ini adalah membuat sel simetrik menggunakan elektrolit 10% Gadolinium *doped* Cerium (GDC₁₀) dan katoda LSCF-GDC, menguji karakteristik serbuk elektrolit GDC₁₀ dan mengetahui pengaruh variasi *holding time* sintering pada sifat porositas dan densitas pelet GDC₁₀ untuk sel simetrik GDC/LSCF-GDC. Serbuk elektrolit GDC disintesis menggunakan metode *sol-gel*, lalu diuji karakteristik dengan menggunakan XRD, TGA, FTIR dan SEM. Kemudian dicetak berbentuk pelet, disintering dengan variasi *holding time* sintering 2 jam dan 5 jam, diuji densitas dan porositas lalu dilapisi pasta katoda LSCF-GDC. Hasil karakterisasi menunjukkan serbuk GDC₁₀ memiliki ukuran partikel besar dan menggumpal dengan unsur kimia paling dominan yaitu Cerium. Jenis ikatan N-H, C=C, C-N dan C-O terkandung pada serbuk elektrolit GDC₁₀, adanya fasa yang terbentuk yaitu Gadolinium dan Cerium dengan jarak antar bidang rata-rata adalah 1,763 Å dan ukuran diameter kristal sekitar 25,089 nm. Pada uji termal menunjukkan terjadi kenaikan massa pada awal pemanasan karena adanya proses oksidasi lalu mengalami dekomposisi di suhu lebih tinggi. Proses sintering dengan *holding time* 5 jam merupakan waktu yang optimal untuk menghasilkan elektrolit GDC₁₀ dengan porositas <1,1% dan nilai densitas yaitu 98,8%.

Kata kunci: *Fuel cell*, SOFC, GDC₁₀, sel simetrik, katoda, elektrolit, XRD, TGA, FTIR, SEM, porositas, densitas.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING	
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING PENELITIAN	
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN	
LEMBAR BIMBINGAN PENYUSUNAN LAPORAN TA PENELITIAN	
HALAMAN SURAT PENGAJUAN TUGAS AKHIR PENELITIAN	
HALAMAN SURAT KETERANGAN DITERIMA PENELITIAN	
KATA PENGANTAR.....	i
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 <i>Fuel cell</i>	6
2.2 <i>Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)</i>	8
2.3 <i>Intermediate Temperature Solid Oxide Fuel Cell (IT-SOFC)</i>	10
2.4 Komponen SOFC	10
2.4.1 Anoda	11
2.4.2 Katoda	11
2.4.3 Elektrolit.....	12
2.4.3.1 Elektrolit berbasis Cerium	13
2.4.3.2 Struktur Flourite Cerium	13
2.5 Sintering.....	15
2.6 Densitas.....	17
2.7 Porositas	18

2.8	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	18
2.9	<i>Scanning Electron Microscopy-Electron Dispersive X-ray (SEM-EDX)</i>	19
2.10	<i>Thermal Gravimetric Analysis (TGA)</i>	20
2.11	<i>Fourier Transform Infra Red (FTIR)</i>	21
BAB III METODE PENELITIAN		26
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	26
3.2	Alat dan Bahan	26
3.3	Variabel.....	27
3.4	Prosedur	27
3.4.1.	Sintesis elektrolit GDC ₁₀ (Ce _{0.9} Gd _{0.1} O _{1.95}).....	27
3.4.2.	Pembuatan pasta katoda LSCF-GDC.....	28
3.4.3	Pembuatan <i>symmetric cells (half cell)</i>	29
3.4.4	Diagram Alir Penelitian.....	29
3.5	Pengujian GDC ₁₀	33
3.5.1	Prosedur Pengujian Serbuk GDC ₁₀ dengan XRD.....	33
3.5.2	Prosedur Pengujian Serbuk GDC ₁₀ dengan TGA.....	33
3.5.3	Prosedur Pengujian Serbuk GDC ₁₀ dengan FTIR	34
3.5.4	Prosedur Pengujian Serbuk GDC ₁₀ dengan SEM-EDX.....	34
3.5.5	Prosedur Pengujian Densitas Pelet GDC ₁₀	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		36
4.1	Hasil Sintesis Serbuk GDC ₁₀	36
4.2	Pembahasan Hasil dan Analisa Pengujian GDC ₁₀	38
BAB V PENUTUP		45
5.1	Kesimpulan.....	45
5.2	Saran	46
DAFTAR PUSTAKA		47
LAMPIRAN A BAHAN DAN ALAT		
LAMPIRAN B HASIL PENGAMATAN		
LAMPIRAN C PERHITUNGAN		
LAMPIRAN D HASIL PENGUJIAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Skema Reaksi Elektrokimia <i>Solid Oxide Fuel Cell</i>	9
Gambar II.2 Unit Sel CeO ₂	14
Gambar II.3 Permodelan Partikel	16
Gambar II.4 Skema Kerja SEM.....	19
Gambar II.5 Skema Kerja TGA.....	21
Gambar II.6 Prinsip Kerja FTIR.....	24
Gambar III.1 Diagram Metodologi Penelitian.....	30
Gambar III.2 Diagram Alir Sintesis Serbuk Sel Elektrolit GDC ₁₀	31
Gambar III.3 Diagram Alir Pencetakan Pelet Elektrolit GDC ₁₀	32
Gambar III.4 Diagram Alir Pembuatan Katoda LSCF/GDC.....	32
Gambar III.5 Diagram Alir Pelapisan Pasta untuk <i>Symmetric Cells</i>	33
Gambar IV.1 a) Hasil pengadukan <i>magnetic stirer</i> prekursor membentuk foam berwarna kuning; (b) Hasil peng-ovenan serbuk; (c) Hasil setelah proses kalsinasi	36
Gambar IV.2 (a) Pelet GDC ₁₀ ; (b) Pelet GDC ₁₀ setelah disinterring dan diampas	37
Gambar IV.3 (a) pasta katoda LSCF-GDC; (b) pengovenan katoda LSCF-GDC; (c) pelet GDC ₁₀ setelah dilapisi pasta katoda LSCF-GDC dan disinterring (<i>symmetric cells</i>).....	37
Gambar IV.4 Hasil Uji XRD Serbuk GDC ₁₀	38
Gambar IV.5 Hasil Uji TGA Serbuk GDC ₁₀ 1200 TG	39
Gambar IV.6 Hasil Uji FTIR Serbuk GDC ₁₀	40
Gambar IV.7 Hasil Uji FTIR Serbuk GDC ₁₀ penelitian sebelumnya	41
Gambar IV.8 Hasil Uji SEM Serbuk GDC ₁₀	41
Gambar IV.9 Hasil Uji EDX Serbuk GDC ₁₀ (a) Spektrum 1; (b) Spektrum 2; (c) Spektrum 3; (d) Spektrum 4	43

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Klasifikasi <i>Fuel cell</i> Berdasarkan Bahan Bakar, Elektrolit, Temperatur Operasi, Karakteristik, dan Penggunaannya	7
Tabel II.2 Korelasi Inframerah.....	22
Tabel IV.1 Perhitungan Densitas dan Porositas Pelet GDC ₁₀ dengan Variasi <i> Holding Time</i>	43

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi saat ini cukup maju, baik dalam bidang logam maupun non logam untuk keperluan industri. Kebutuhan akan Logam Tanah Jarang (LTJ) di dunia dari tahun ke tahun semakin meningkat. Hal ini dikarenakan LTJ memiliki banyak kegunaan di dalam kehidupan. Beberapa industri menggunakan LTJ seperti industri elektronik, nuklir, optoelektronik, superkonduktor, supermagnet, laser, komputer, keramik, fosfor dan baterai (Haxel dkk., 2002). Dengan peningkatan kebutuhan akan logam tanah jarang serta didukung meningkatnya efek rumah kaca dan pencemaran lingkungan yang diakibatkan rendahnya efisiensi penggunaan bahan bakar fosil banyak peneliti yang memanfaatkan LTJ sebagai material energi alternatif yaitu *fuel cell*.

Fuel cell atau sel bahan bakar adalah suatu alat untuk menghasilkan energi listrik, air, dan panas dengan cara mengoksidasi bahan bakar secara elektrokimia (Smith dkk., 2011). *Fuel cell* ini dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik secara langsung dengan adanya pasokan bahan bakar berupa hidrogen dan zat oksidannya berupa oksigen dari udara yang disalurkan ke dalam sel. Keunggulan utama *fuel cell* adalah mempunyai efisiensi tinggi dari 40% sampai 80%, tidak menimbulkan suara bising, dan mampu menanggapi dengan cepat terhadap perubahan bahan bakar atau oksigen (Hasan, 2007). Sekarang ini dari beberapa jenis *fuel cell* yang menjadi sumber energi alternatif, *Solid Oxide Fuel Cell* (SOFC) merupakan jenis *fuel cell* yang difokuskan penelitiannya di dunia (Fu, 2014). Hal ini dikarenakan SOFC mempunyai keunggulan yaitu efisiensi operasinya tinggi, dapat menggunakan hidrogen, hidrokarbon, dan karbon monoksida sebagai bahan bakar dan emisi bahan berbahaya yang dikeluarkan cukup rendah (Gwon dkk, 2016). Namun SOFC memiliki kekurangan yaitu kondisi temperatur operasi tinggi sekitar 800-1000 °C yang dapat menyebabkan degradasi material secara kimia dan fisika dan membatasi pemilihan material yang dapat digunakan (Hae Jin dkk, 2005).

Hal ini juga menyebabkan sistem yang digunakan untuk jangka panjang tidak stabil dan memerlukan biaya yang tinggi. Oleh sebab itu, penurunan kondisi temperatur operasi SOFC dari rentang 800°C-1000 °C (*high temperature*) ke 500°C-800°C (*intermediet temperature*) menjadi suatu pilihan alternatif yang tepat karena tidak hanya mereduksi degradasi *fuel cell* tapi juga memperluas pemilihan material (Leng, 2008). Nyatanya, penurunan temperatur membuat polarisasi katoda meningkat dengan tajam yang menyebabkan penurunan aktivitas elektrokimia karena reaksi reduksi oksigen (Lei dkk., 2017). Untuk mengatasi permasalahan ini, maka dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai bahan katoda yang memiliki konduktivitas ionik dan elektronik yang tinggi serta memiliki kinerja baik dan tinggi dalam rentang temperatur menengah (*intermediet temperature*).

Lanthanum Strontium Cobalt Ferrite (LSCF) merupakan salah satu jenis katoda yang sering digunakan dalam SOFC. Dalam penggunaannya LSCF bisa ditambahkan fasa kedua elektrolitnya membentuk katoda komposit dan contoh elektrolit yang paling sesuai dengan LSCF yaitu Gadolinium Doped Cerium (GDC). Hal ini dikarenakan LSCF mempunyai konduktivitas ionik dan elektroniknya yang tinggi dan kompatibilitas termal dan kimia yang sangat baik dengan GDC (Hae Jin dkk., 2005). Selain itu katoda komposit LSCF-GDC memiliki manfaat dapat mengurangi tahanan polarisasi dari katoda LSCF murni (Leng dkk., 2008).

GDC merupakan salah satu sel elektrolit yang berpotensi untuk SOFC pada suhu operasi yang rendah. Elektrolit ini berbasis cerium yang merupakan bahan terbaik untuk elektrolit pada temperatur menengah (Fuentes dan Baker, 2008). Ceria (CeO_2) yang didoping dengan unsur logam tanah jarang sangat potensial untuk menghasilkan konduktivitas ionik yang lebih tinggi dibandingkan *yttria-stabilized-zirconia* (YSZ) (Abdullah dkk., 2009). Doping adalah penambahan atom asing ke dalam kisi kristal dengan jumlah yang kecil (Kuphaldt, 2010). Doping biasanya mengganti kation valensi rendah dalam kisi untuk mempertahankan netralitas muatan oksigen dan dapat mengubah sifat listrik material. Jika ceria didoping dengan oksida tanah jarang yang bervalensi dua atau tiga, maka kekosongan oksigen akan terbentuk didalam kisi sehingga meningkatkan

konduktivitas ionik (Sriyanti, 2009). Metode yang dipilih dalam sintesis GDC ini adalah metode *sol-gel* yang menggunakan larutan sebagai medianya. Pada metode ini larutan terjadi perubahan fase menjadi sol (koloid yang mempunyai padatan tersuspensi dalam larutannya) dan kemudian menjadi *gel* (koloid tetapi mempunyai fraksi solid yang lebih besar daripada sol). Metode ini mempunyai keunggulan yaitu kemurnian yang tinggi, homogenitas komposisi yang baik di temperatur rendah (Shao dkk., 2012).

Symmetric cells pada dasarnya harus terdiri dari katoda berpori yang berfungsi sebagai elektrokatalis untuk reaksi reduksi oksigen, anoda sebagai katalis oksidasi bahan bakar dan elektrolit yang berdensitas berperan sebagai membran yang memungkinkan hanya bisa dilewati CO_3^{2-} , H^+ , dan O^{2-} (Su dkk., 2015). Hal ini harus dipenuhi karena untuk mengatasi masalah seperti keracunan belerang dan pengendapan karbon (Ruiz-Morales dkk., 2011). Berdasarkan teori-teori tersebut maka dilakukanlah penelitian pembuatan *symmetric cells* dengan katoda LSCF-GDC dan elektrolit GDC. Dalam pembuatan *symmetric cells* ini disyaratkan elektrolit harus memiliki struktur tertentu maka dari itu penelitian ini difokuskan pada parameter *holding time* sintering. *Holding time* sintering yang divariasikan adalah 2 jam dan 5 jam.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang sebelumnya dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik serbuk elektrolit GDC_{10} ?
2. Bagaimana proses sintering yang optimal melalui variasi *holding time* terhadap porositas dan densitas pelet elektrolit GDC_{10} ?
3. Bagaimana metode pelapisan pasta katoda LSCF-GDC di elektrolit GDC_{10} ?
4. Bagaimana membuat *symmetric cells* GDC/LSCF-GDC dengan menggunakan metode *sol-gel* pada sintesis elektrolit GDC_{10} ?

1.3 Batasan Masalah

Ruang lingkup masalah pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Jenis logam tanah jarang yang digunakan adalah Cerium nitrat heksahidrat (*Sigma Aldrich*), Gadolinium nitrat heksahidrat (*Sigma Aldrich*) dan LSCF-GDC (*Sigma Aldrich*).
2. Metode sintesis elektrolit GDC₁₀ yang digunakan adalah metode *sol-gel*.
3. Karakterisasi sel elektrolit GDC₁₀ dengan menggunakan instrumentasi XRD, TGA, FTIR, dan SEM-EDX.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini sebagai berikut :

1. Mengetahui karakteristik serbuk elektrolit GDC₁₀
2. Mengetahui proses sintering yang optimal melalui variasi *holding time* terhadap porositas dan densitas pelet elektrolit GDC₁₀.
3. Mengetahui metode pelapisan pasta katoda LSCF-GDC di elektrolit GDC₁₀.
4. Menghasilkan *symmetric cells* GDC/LSCF-GDC

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi kepada pihak terkait mengenai sintesis sel elektrolit Gadolinium Doped Cerium (GDC) dan *symmetric cells* dari LSCF-GDC untuk penggunaan SOFC (*Solid Oxide Fuel Cell*) sebagai salah satu energi alternatif yang ramah lingkungan yang menjanjikan untuk dikembangkan pada penelitian selanjutnya.

1.6 Sistematika Penelitian

Penulisan penelitian tugas akhir ini dibuat penyajian tersusun secara teratur dan berurutan sehingga didapat kerangka alur pemikiran yang mudah difahami. Sistematika penulisan dalam penelitian tugas akhir ini terdiri dari 5 bab dengan urutan sebagai berikut :

Bab I Pendahuluan, menjelaskan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penelitian.

Bab II Tinjauan Pustaka, berisi tinjauan pustaka mengenai *fuel cell* serta kelebihan dan kekurangannya, jenis-jenis *fuel cell*, *Solid Oxide Fuel Cell* (SOFC), SOFC pada temperatur menengah, komponen-komponen SOFC, alat-alat uji karakterisasi SOFC

Bab III Metodologi penelitian, menguraikan prosedur sintesis material GDC yang berfungsi sebagai elektrolit pada SOFC, pembuatan *ink/pasta* katoda LSCF-GDC dan serangkaian pengujian untuk mempelajari karakteristik bahan hasil sintesis.

Bab IV Hasil dan Pembahasan, menjelaskan data-data yang didapatkan dari proses sintesa dan membahas hasil perhitungan atau analisa data karakterisasi. Pembahasan dilakukan dengan melakukan perbandingan hasil uji dan literature sehingga didapatkan hasil analisa yang mampu menjelaskan fenomena yang didapatkan dari hasil-hasil percobaan.

Bab V Kesimpulan dan Saran, memberikan kesimpulan dari penelitian berdasarkan hasil pembahasan, menyampaikan saran-saran yang diperlukan untuk perbaikan penelitian lanjutan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Fuel cell*

Fuel cell telah didemonstrasikan pada tahun 1839 oleh Sir William Robert Grove, seorang ahli hukum merangkap sebagai ahli fisika amatir, dengan melakukan pembalikan elektrolisa air, elektroda yang digunakan adalah platina. Pada tahun 1932 Francis Bacon berhasil mengembangkan *fuel cell* (Suhada, 2001). *Fuel cell* merupakan suatu piranti elektrokimia yang dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik secara langsung dengan adanya pasokan bahan bakar (hidrogen) dan zat oksidan (oksigen dari udara) yang disalurkan ke dalam sel (Winter dan Brood, 2004). Sel bahan bakar serupa dengan mesin pembakar (*combustion engine*) yakni memerlukan bahan bakar untuk menjalankannya, namun serupa juga dengan baterai dimana mampu mengubah energi kimia menjadi energi listrik secara langsung tanpa melalui proses pembakaran. Perubahan energi secara langsung tersebut yakni tanpa melalui proses pembakaran dapat meningkatkan efisiensi konversi dari sel (Brett dkk, 2008).

Secara umum, sel bahan bakar terdiri dari dua komponen penting yakni elektroda (katoda dan anoda) dan elektrolit. Susunan sel bahan bakarnya terdiri dari tiga lapis, dimana kedua elektroda mengapit elektrolit yang kemudian bahan bakar dialirkan di atas permukaan anoda, sedangkan oksigen dialirkan di atas permukaan katoda. Berdasarkan temperatur operasionalnya, sel bahan bakar terbagi ke dalam dua jenis yaitu sel bahan bakar temperatur rendah yang beroperasi pada temperatur di bawah 300°C dan sel bahan bakar temperatur tinggi yang beroperasi pada temperatur di atas 300 °C.

Fuel cell diklasifikasikan berdasarkan bahan bakar dan elektrolit yang digunakan yaitu *Alkaline Fuel Cell* (AFC), *Polymer Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC), *Phosphoric Acid Fuel Cell* (PAFC), *Molten Carbonate Fuel Cell* (MCFC), *Solid Oxide Fuel Cell* (SOFC) dan *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC) (Suhada, 2001). Klasifikasi jenis *fuel cell* berdasarkan elektrolit, temperatur

operasi, karakteristik dan penggunaannya ditampilkan pada Tabel II.1

Tabel II.1 Klasifikasi *Fuel cell* Berdasarkan Bahan Bakar, Elektrolit, Temperatur Operasi, Karakteristik, dan Penggunaannya

Jenis	Elektrolit	Temperatur operasi (°C)	Karakteristik	Penggunaan
<i>Alkaline Fuel Cell</i> (AFC)	Kalilauge (KOH)	60 – 120	Efisiensi energi tinggi, memiliki kepekaan terhadap CO ₂	Pesawat ruang angkasa, kendaraan
<i>Polymer Exchange Membrane Fuel Cell</i> (PEMFC)	<i>Polymer electrolyte</i> (H ⁺)	60 – 100	Kerapatan energi tinggi, memiliki kepekaan terhadap CO (<100 ppm)	Kendaraan (sedan, bus, minivan), stasiun pembangkit panas
<i>Phosphoric Acid Fuel cell</i> (PAFC)	<i>Phosphoric Acid</i> (H ⁺)	160 – 200	Efisiensi energi terbatas, peka terhadap CO (<1,5% Vol)	Stasiun pembangkit panas, kendaraan
<i>Molten Carbonate Fuel Cell</i> (MCFC)	<i>Molten Carbonate</i> (CO ₃ ²⁻)	500 - 650	Masalah pada korosi	Stasiun pembangkit energi panas, pembangkit energi listrik
<i>Solid Oxide Fuel Cell</i> (SOFC)	Lapisan keramik (O ²⁻)	800 – 1000	Efisiensi sistem tinggi, temperatur operasi perlu diturunkan	Pembangkit energi panas, penggabungan stasiun pembangkit dengan turbin gas
<i>Direct Methanol Fuel Cell</i> (DMFC)	<i>Polymer electrolyte</i> (H ⁺)	60 – 120	Efisiensi sistem tinggi, peka terhadap hasil oksidasi di anoda	Kendaraan

Sumber: Suhada, 2001

Reaksi kimia yang terjadi pada *fuel cell* yaitu :



Pada anoda hidrogen dioksidasi menjadi proton :



Setiap molekul H₂ terpecah menjadi dua atom H⁺ (proton), sedangkan setiap atom hidrogen melepaskan elektronnya. Proton ini akan bergerak menuju katoda melewati membran. Elektron yang terbentuk akan menghasilkan arus listrik jika

dihubungkan dengan penghantar listrik menuju katoda. Pada katoda oksigen diubah:



Molekul oksigen akan bergabung dengan empat elektron, menjadi ion oksigen yang bermuatan negatif untuk selanjutnya bergabung lagi dengan proton yang mengalir dari anoda. Setiap ion oksigen akan melepaskan kedua muatan negatifnya dan bergabung dengan dua proton sehingga terjadi oksidasi menjadi air (Suhada, 2001). Adapun keunggulan dari penggunaan *fuel cell* yaitu mempunyai efisiensi termal dan efisiensi listrik yang tinggi, tidak menimbulkan suara bising, konstruksi modular sehingga fleksibel dalam menyesuaikan dengan sumber bahan bakar yang ada, dan mampu menanggapi dengan cepat terhadap perubahan bahan bakar atau oksigen (Hasan, 2007).

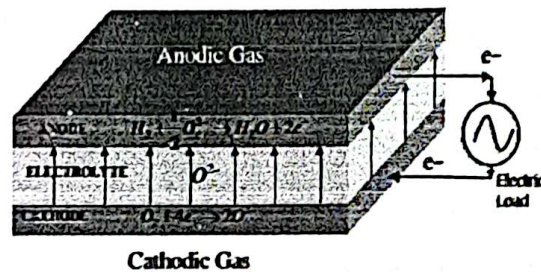
2.2 *Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)*

Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) telah ada selama hampir 100 tahun dan penelitiannya dimulai sejak tahun 1930-an. SOFC seperti jenis *fuel cell* lainnya adalah jenis perangkat elektrokimia yang mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik dan panas (Bove dan Ubertini, 2008). SOFC ini sangat berguna dalam aplikasi berdaya tinggi seperti stasiun industri skala penuh dan stasiun pembangkit listrik berskala besar. Sistem SOFC biasanya menggunakan keramik padat sebagai elektrolit dan beroperasi pada temperatur yang sangat tinggi. Temperatur operasi yang tinggi ini memungkinkan reformasi internal, mendorong reaksi elektrokatalitik yang cepat dengan 21 logam non-mulia, dan menghasilkan panas hasil samping berkualitas tinggi untuk *co-generation*. Efisiensi untuk jenis sel bahan bakar ini bisa mencapai hingga 70 %. Teknologi SOFC sangat menarik dari sudut pandang material dan memiliki potensi keunggulan dan daya saing dalam aspek berikut :

1. SOFC adalah sel bahan bakar yang paling efisien dalam hal pembangkit listrik. Selain itu, suhu operasi SOFC yang tinggi menghasilkan produk samping panas berkualitas tinggi yang dapat digunakan untuk aplikasi *co-*

generation atau siklus gabungan. Hal ini selanjutnya dapat meningkatkan efisiensi energi secara keseluruhan.

2. Fleksibel dalam pemilihan bahan bakar.
3. SOFC tidak membutuhkan logam mulia mahal yang bisa menjadi masalah dalam ketersediaan dan biaya.
4. Setiap karbon monoksida yang dihasilkan diubah menjadi karbon dioksida pada temperatur operasi yang tinggi. Oleh karena itu SOFC memiliki emisi gas buang yang sangat rendah (Fu, 2014).



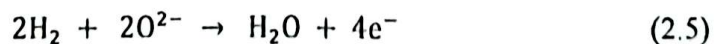
Gambar II.1. Skema Reaksi Elektrokimia *Solid Oxide Fuel Cell*.

Sumber: Sammes dkk, 2006

Pada katoda, terjadi reaksi reduksi oksigen yang berlangsung dengan reaksi sebagai berikut:



Struktur elektrolit yang padat tidak memperbolehkan bagian dari gas pada katoda untuk lewat, sementara konduktivitas ionik dan resistansi elektrik yang tinggi hanya memperbolehkan ion O^{2-} untuk bermigrasi dari katoda ke anoda. Pada anoda, O^{2-} bereaksi dengan hidrogen menghasilkan air:



Selama reaksi (2.5) terjadi, elektron dilepaskan pada anoda dan bermigrasi ke katoda melalui sirkuit elektrik eksternal yang menghasilkan arus listrik. Reaksi keseluruhan yang terjadi di dalam sel adalah sebagai berikut.



Dibandingkan dengan jenis *fuel cell* yang menggunakan elektrolit berbasis perpindahan proton seperti *Proton Exchange Membrane Fuel Cells* (PEMFC), *Alkaline Fuel Cells* (AFC) dan *Phosphoric Acid Fuel Cells* (PAFC), *Solid Oxide Fuel*

Cell (SOFC) dapat menghasilkan air pada anoda (Chun dkk., 2010).

2.3 *Intermediate Temperature Solid Oxide Fuel Cell (IT-SOFC)*

SOFC dengan temperatur tinggi telah dikembangkan dengan elektrolit YSZ (Yttrium-stabil zirkonia) bahan fase tunggal yang telah membuat keberhasilan besar dalam teknologi. SOFC beroperasi pada temperatur tinggi dan menyebabkan ketidakstabilan pada sistem jika menggunakan untuk jangka panjang, biaya manufaktur yang tinggi dan kesulitan pada pemilihan material yang tepat. Penelitian lanjutan pun sedang dilakukan tentang SOFC yang bekerja pada temperatur menengah (Zhu, 2006). Selain itu temperatur operasional yang tinggi juga dapat menimbulkan masalah pada bahan, misalnya mengalami degradasi termal dan terjadi reaksi diantara komponen SOFC (Fuentes dan Baker, 2008). Penurunan temperatur operasional pada SOFC menarik perhatian peneliti karena memberikan beberapa keunggulan seperti menggunakan material dengan harga yang tidak terlalu mahal namun memiliki kinerja yang baik, stabilitas elektrolit yang tinggi dan proses *start up* yang cepat.

Salah satu komponen utama SOFC adalah sel elektrolit padat, yang membutuhkan konduktivitas ionik yang tinggi agar stabil pada keadaan oksidasi maupun reduksi. YSZ memiliki konduktivitas ionik yang rendah pada temperatur operasi dibawah 800°C dan tidak sesuai untuk SOFC temperatur rendah, maka dari itu diperlukan alternatif lain bahan sel elektrolit (Raharjo dkk., 2007).

Elektrolit berbasis cerium adalah bahan terbaik untuk elektrolit pada temperatur sedang (Fuentes dan Baker, 2008). Dopan aliovalen seperti Yb_2O_3 , Gd_2O_3 , La_2O_3 dan Sc_2O_3 bereaksi dengan CeO_2 dan membentuk kekosongan pada kisi kristal sehingga memudahkan ion oksigen dari CeO_2 untuk berpindah. Maka, Gd^{3+} akan dengan mudah berikatan dengan Ce^{3+} . Kekosongan ion memiliki peran penting terhadap konduktivitas ionik pada elektrolit berbasis cerium (Sorrel dkk., 2005). Gadolinium doped Cerium (GDC) dianggap menjadi salah satu elektrolit padat berbasis cerium yang paling baik (Shaorong dkk., 2000).

2.4 **Komponen SOFC**

Dalam satu sel SOFC terdiri dari anoda, katoda dan elektrolit yang masing-

masingnya memiliki peran penting dalam menghasilkan energi listrik.

2.4.1 Anoda

Anoda dalam perangkat SOFC berperan sebagai tempat terjadinya reaksi oksidasi bahan bakar (gas hidrogen). Secara umum bahan untuk anoda SOFC diharuskan terbuat dari bahan kimia yang baik dan stabilitas termal selama fabrikasi dan operasi sel bahan bakar, memiliki konduktivitas elektronik yang tinggi dibawah kondisi operasi sel bahan bakar, aktivitas katalitik yang sangat baik terhadap oksidasi bahan bakar (Cheng dkk., 2009). Logam transisi adalah kandidat yang terbaik untuk material anoda SOFC karena memiliki aktifitas katalitik dan stabilitas yang tinggi. Berdasarkan stabilitas kimia, aktifitas katalitik dan biaya, nikel merupakan kandidat yang terbaik sebagai anoda logam (Raharjo dkk., 2007). Bahan pembuat anoda untuk perangkat SOFC biasanya terdiri dari campuran nikel dan YSZ. Komponen Ni/YSZ membuat anoda memiliki konduktivitas elektrik yang tinggi dan menyebabkan anoda dapat menyangga keseluruhan struktur sel.

2.4.2 Katoda

Katoda dalam perangkat SOFC berperan sebagai tempat dimana oksigen murni atau oksigen dari udara tereduksi melalui reaksi elektrokimia (Jiang dan Li, 2009). Pengembangan material katoda dengan kinerja elektrokimia yang tinggi dan stabilitas dalam waktu yang lama semakin penting dalam rangka menuju pengembangan SOFC secara komersial, yang dapat dioperasikan pada temperatur menengah. Hal ini karena *overpotential loss* pada reaksi reduksi O_2 pada sisi katoda adalah relatif tinggi dalam SOFC yang menggunakan teknologi lapisan tipis elektrolit (Raharjo dkk., 2007).

Baru-baru ini terjadi peningkatan minat pada bahan perovskit Lanthanum Strontium Cobalt Ferrite (LSCF) untuk katoda karena memiliki konduktivitas elektronik dan ionik yang tinggi dan aktivitas katalitik yang sangat baik untuk reduksi oksigen pada temperatur rendah terutama jika berpasangan dengan elektrolit berbasis ceria (Jiang dan Li, 2009).

Salah satu metode yang biasa digunakan untuk meningkatkan kinerja katoda adalah menambahkan fasa kedua penghantar ion seperti YSZ atau GDC ke dalam elektroda, biasanya $(La,Sr)MnO_3$ (LSM) dan LSCF. Campuran konduktor ionik-

elektronik (La, Sr) (Co, Fe) O₃ (LSCF) telah dianggap sebagai salah satu bahan katoda yang paling menjanjikan untuk temperatur menengah atau rendah SOFC, terutama dengan elektrolit berbasis ceria. Peningkatan kinerja katoda komposit adalah hasil perluasan area *three phase boundary* (TPB) dari antarmuka katoda atau elektrolit ke keseluruhan katoda. Menurut investigasi yang dilakukan Dusastre dan Kilner ketika 30 wt% GDC ditambahkan ke LSCF maka resistensi polarisasi menurun sebanyak empat kali sedangkan menurut investigasi Murry dkk penambahan 50 wt% GDC-LSCF menghasilkan reduksi resisten polarisasi sebanyak sepuluh kali lipat. Selain itu, dipastikan bahwa kinerja elektroda katoda komposit LSCF-GDC berhubungan dengan temperatur sintering, mikrostruktur (seperti ukuran butiran dan porositas) dan komposisi (Leng dkk., 2008).

2.4.3 Elektrolit

Material yang berpotensi untuk digunakan sebagai elektrolit adalah zirkonia dan CeO₂ yang berstruktur fluorit dan La₂Ga₂O₃ yang berstruktur perovskit. Dari ketiga sistem elektrolit tersebut, zirkonia terstabilkan yttria (YSZ), lantanum galat terdoping stronsium dan magnesium (LSGM), dan CeO₂ terdoping gadolinium atau samarium (GDC atau SDC), masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. CeO₂ terdoping dengan logam tanah jarang dan metal oksida memiliki konduktivitas tinggi pada suhu yang lebih rendah dibandingkan dengan YSZ. Syarat umum suatu material elektrolit adalah konduktivitas ionik yang tinggi, konduktivitas elektronik yang rendah, stabilitas kimia yang baik terutama pada lingkungan oksidasi maupun reduksi, sifat mekanik yang baik, dan stabilitas termal yang baik dan sesuai dengan komponen penyusun lainnya seperti katoda maupun anoda (Jacobson, 2010).

Metode sol-gel dikenal sebagai salah satu metode sintesis elektrolit yang cukup sederhana dan mudah. Metode ini merupakan salah satu "*wet method*" karena pada prosesnya melibatkan larutan sebagai mediana. Pada metode sol-gel, sesuai dengan namanya larutan mengalami perubahan fase menjadi sol (koloid yang mempunyai padatan tersuspensi dalam larutannya) dan kemudian menjadi *gel* (koloid tetapi mempunyai fraksi solid yang lebih besar daripada sol). Teknik ini umumnya menghasilkan serbuk spinel homogen halus yang merupakan kunci untuk

mencapai lapisan yang sangat padat dengan adhesi yang baik (Mah dkk., 2017). Metode sol-gel memungkinkan pembuatan campuran dalam larutan, mencapai homogenitas pada larutan skala molekuler. Komposisi produk juga dapat dengan mudah disesuaikan dengan memvariasikan rasio prekursor dalam larutan. Proses ini menghadirkan banyak keunggulan diantaranya kemurnian fase tinggi, homogenitas komposisi yang baik, dan aktivitas permukaan yang tinggi dari serbuk yang dihasilkan (Shao dkk., 2012).

2.4.3.1 Elektrolit berbasis Cerium

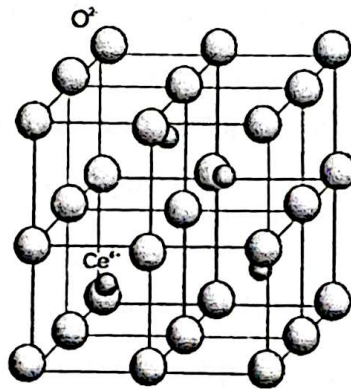
Secara ideal, elektrolit harus memenuhi karakteristik seperti: konduktivitas ionik yang tinggi, stabilitas termal dan kimia yang baik, struktur yang padat agar tidak terjadi kebocoran sehingga menyebabkan bahan bakar berpindah, biaya murah dan ramah lingkungan. Konduktivitas ionik menjadi suatu ukuran untuk mengetahui kemampuan sel elektrolit dalam mengalirkan arus listrik. Material yang digunakan sebagai elektrolit untuk SOFC pada dasarnya merupakan material konduktor ion oksigen, agar mampu menggerakkan ion oksida melalui kisi kristal sehingga arus listrik dapat mengalir. Pergerakan ini merupakan akibat dari loncatan ion oksida yang teraktivasi oleh suhu, bergerak dari satu posisi kisi kristal ke posisi tetangganya (*nearest neighbor*). Agar terjadi pergerakan tersebut, kristal harus mengandung posisi-posisi tidak terisi (kosong) yang ekuivalen dengan posisi-posisi yang terisi oleh ion oksida (Ismunandar, 2006).

Material yang berpotensi untuk digunakan sebagai elektrolit adalah zirkonia dan CeO_2 yang berstruktur fluorit dan $\text{La}_2\text{Ga}_2\text{O}_3$ yang berstruktur perovskit. Dari ketiga sistem elektrolit tersebut, zirkonia terstabilkan yttria (YSZ), lantanum galat terdoping stronsium dan magnesium (LSGM), dan CeO_2 terdoping gadolinium atau samarium (GDC atau SDC), masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. CeO_2 terdoping dengan logam tanah jarang dan metal oksida memiliki konduktivitas tinggi pada suhu yang lebih rendah dibandingkan dengan YSZ (Jacobson, 2010).

2.4.3.2 Struktur Fluorite Cerium

Cerium dioxide (biasa disebut cerium) memiliki struktur fluorite, yang

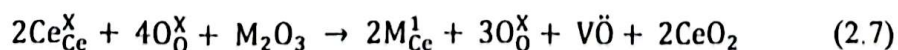
terdiri dari sub-kisi oksigen kubik sederhana dengan ion cerium memenuhi bagian tengah kubik. Hal ini menyebabkan terjadinya migrasi ion oksigen melalui kisi. Ion oksigen pada CeO_2 berikatan dengan ion cerium membentuk struktur tetrahedral dan berikatan dengan ion oksigen di sekelilingnya membentuk struktur oktahedral.



Gambar II.2. Unit Sel CeO_2
Sumber: Anindya, 2016

Doped-cerium merupakan jenis oksida yang memiliki struktur fluorite juga tergolong sebagai konduktor ion oksigen. Konsentrasi dopan dapat mempengaruhi sifat bahan dan meminimalkan terjadinya tegangan terhadap energi potensial dari kisi induk sehingga berpengaruh besar pada konduktivitas. Pada sel elektrolit yang bersifat konduktor ion, arus akan mengalir oleh pergerakan ion oksida melalui kisi kristal. Ion melompat dari kisi satu ke kisi lain secara acak.

Struktur *fluorite* mempunyai bentuk dengan rumus AO_2 , dimana A merupakan kation tetravalen yang besar, contohnya U, Th dan Ce. Doping dilibatkan dalam proses pembuatan sel elektrolit berbasis cerium untuk menggantikan kation dengan valensi yang lebih rendah ke dalam kisi. Agar dapat menjaga muatan netral, maka harus terbentuk *oxygen vacancy* (kekosongan oksigen), yang memperbolehkan migrasi ion oksigen. Gd^{3+} digunakan sebagai dopan pada CeO_2 karena merupakan kation yang relatif besar sehingga dapat menopang struktur fluorite pada temperatur sedang. Reaksi yang terjadi ketika CeO_2 didoping dengan ion subvalen, contohnya ion +2 dan +3 (Dikmen dkk., 2010).



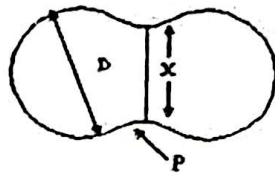
Menggunakan analisis regresi, Kim mengajukan teori radius ionik dopan (r_c) sebagai radius ionik pada dopan ideal yang dapat menyebabkan terjadinya pelebaran ataupun kontraksi pada kisi induk CeO_2 . Tingginya konduktivitas GDC disebabkan oleh radius ionik Gd^{3+} yang berada sangat dekat dengan nilai r_c (Omar dkk., 2008). Adanya penambahan oksida menyebabkan struktur kubik menjadi lebih stabil dan membentuk *oxygen vacancy* (kekosongan oksigen). Studi menunjukkan bahwa doping dengan kation trivalen dapat meningkatkan konduktivitas ion oksigen secara signifikan.

2.5 Sintering

Proses sintering merupakan proses pemadatan material serbuk dengan cara membentuk ikatan batas butir antar serbuk penyusunnya. Ikatan antar butir terjadi akibat pemanasan dengan atau tanpa penekanan dan temperatur sintering yang diatur di bawah temperatur leleh dari partikel penyusunnya. Pada proses sintering benda padat terjadi karena terbentuknya ikatan-ikatan antar partikel. Pemanasan menyebabkan bersatunya partikel dan efektivitas reaksi tegangan permukaan meningkat sehingga, proses sintering menyebabkan bersatunya partikel sedemikian rupa sehingga kepadatan serbuk bertambah. Selama proses sintering terbentuklah batas-batas butir yang merupakan tahap permulaan rekristalisasi. Di samping itu, gas yang ada menguap dan temperatur sintering umumnya berada di bawah titik cair unsur serbuk, selama proses sintering terjadi perubahan dimensi, baik berupa pengembangan maupun penyusutan tergantung pada bentuk dan distribusi ukuran partikel serbuk, komposisi serbuk, prosedur sintering dan tekanan pemampatan (Subekti, 2011).

Energi yang digunakan untuk menggerakkan proses sintering disebut gaya dorong (*driving force*) yang ada hubungannya dengan energi permukaan butir. Pengaruh temperatur sintering terhadap perubahan densitas dengan porositas saling berlawanan. Jika temperatur sintering semakin tinggi maka densitas, kekuatan mekanik dan ukuran butir semakin besar sedangkan porositas menurun. Selama proses sintering terjadi perpindahan massa dari partikel ke *neck* dan perpindahan massa ini terjadi untuk mengurangi energi permukaan partikel dengan cara memperluas permukaan partikel. Jadi, selama proses sintering terjadi eliminasi atau pengurangan energi permukaan sehingga parameter yang digunakan untuk

mengukur tingkat sintering (*degree of sintering*) adalah luas permukaan. Parameter lain yang bisa digunakan dalam mengukur tingkat sintering adalah perbandingan antara ukuran *neck* (x) dengan diameter partikel (D). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat Gambar II.3



Gambar II.3. Permodelan Partikel
Sumber: German, 1994

Proses sintering dapat berlangsung apabila (Rais, 2007) :

- Adanya transfer materi diantara butiran (proses difusi).
- Adanya sumber energi yang dapat mengaktifkan transfer materi, kemudian energi tersebut digunakan untuk menggerakkan butiran sehingga terjadi kontak dan ikatan yang sempurna

Mekanisme sintering dimulai dengan adanya kontak antara butir yang dilanjutkan dengan pelebaran titik kontak akibat proses difusi atom-atom. Difusi yang berlebihan menyebabkan penyusutan volume pori yang terjadi selama proses sintering berlangsung. Densitas meningkat dengan peningkatan temperatur sintering. Secara umum, perubahan yang terjadi saat proses sintering berlangsung dapat dibagi menjadi tiga tahapan yang ditandai dengan peningkatan temperatur sintering dan densifikasi material (Mawardani, 2014)

1. Tahap awal (*initial stage*), secara umum ditandai dengan penyusunan kembali formasi leher yang meliputi penyusunan kembali partikel dan formasi leher awal di titik kontak antar partikel. Porositas pada tahap ini tidak banyak berkurang, begitu pula penyusutan tidak banyak terjadi.
2. Tahap pertengahan (*intermediet stage*), pertumbuhan terus berlanjut yang diikuti dengan pertumbuhan butir dan pertumbuhan pori. Perubahan fisik yang terjadi pada tahap dua meliputi pertumbuhan ukuran leher antara partikel, porositas menurun, pusat partikel bergerak semakin dekat secara

bersama-sama. Batas butir mulai berpindah sehingga butir mulai tumbuh, terbentuk saluran yang saling berhubungan dan berakhir ketika porositas terisolasi. Densifikasi paling banyak terjadi pada tahap ini. Akibatnya material yang menjalani tahap ini akan mengalami penyusutan yang cukup signifikan. Pada tahap ini masih terdapat banyak pori meskipun bentuknya telah berubah.

3. Tahap akhir (*final stage*), ditandai dengan hilangnya struktur pori dan munculnya batas butir. Tahap ini batas butir bergerak dan terjadi pembesaran ukuran butir sampai kanal-kanal pori tertutup dan sekaligus terjadi penyusutan

Laju penyusutan dipengaruhi oleh waktu dan temperatur sintering. Pengaruh temperatur sintering terhadap perubahan densitas dan porositas saling berlawanan. Apabila temperatur sintering semakin tinggi maka kekuatan mekanik dan ukuran butir semakin besar sedangkan porositas dan sifat listriknya menurun (Rais, 2007)

2.6 Densitas

Densitas pada material didefinisikan sebagai perbandingan antara massa (m) dengan volume (v). Densitas dinyatakan dalam g/cm^3 dan dilambangkan dengan ρ . Perhitungan densitas pelet menggunakan rumus;

$$\rho = \frac{(M_s) - (M_k)}{\rho_{air}} \times 100\% \quad (2.8)$$

Dimana :

ρ_{air} = densitas air (g/cm^3)

M_k = Massa kering (gram)

M_b = Massa basah (gram)

M_s = Massa saturasi (gram)

Dalam hal ini densitas spesimen pelet elektrolit GDC_{10} hasil sintering mengacu pada standar ASTM C.373-88. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan prinsip *Archimedes*.

2.7 Porositas

Pengukuran porositas bertujuan untuk mengetahui pori-pori yang terdapat dalam sampel. Porositas merupakan satuan yang menyatakan keporositasan suatu material yang dihitung dengan mencari persen (%) berdasarkan daya serap bahan terhadap air dengan perbandingan volum air yang diserap terhadap volum total sampel (Mawardani, 2017).

2.8 X-Ray Diffraction (XRD)

Teknik analisis XRD digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi. Mekanisme kerja analisis XRD ini yakni material yang akan dianalisis digerus sampai halus kemudian dipreparasi lebih lanjut menjadi lebih padat dalam suatu *holder*. *Holder* tersebut diletakkan pada alat XRD dan diradiasi dengan sinar-x. Data hasil penyinaran sinar-x berupa spektrum difraksi sinar-x. Data difraksi tersebut direkam dan dicatat oleh komputer dalam bentuk grafik *peak* intensitas. Jarak antara bidang kisi kristal yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan hukum Bragg pada komputer dengan menggunakan *software General Structure Analysis System (GSAS)* sehingga dapat menghasilkan suatu data (Sudarningsih, 2008).

Prinsip dasar dari XRD adalah hamburan elektron yang mengenai permukaan kristal. Bila sinar dilewatkan ke permukaan kristal, sebagian kristal akan diteruskan ke lapisan berikutnya. Sinar yang dihamburkan akan berinterferensi secara konstruktif dan destruktif. Hamburan sinar yang berinterferensi konstruktif inilah yang digunakan sebagai analisis. Prinsip dasar yang digunakan untuk menentukan sistem kristal adalah dengan menggunakan persamaan hukum Bragg.

Berdasarkan persamaan Bragg, jika seberkas sinar-x dijatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-x yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Semakin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, makin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu

tiga dimensi. Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran ini kemudian dicocokkan dengan standar difraksi sinar-x untuk hampir seluruh jenis material. Standar ini disebut JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standard). Representasi matematis syarat terjadinya difraksi dijelaskan oleh Hukum Bragg:

$$2d_{hkl} \sin\theta = n\lambda \quad (2,9)$$

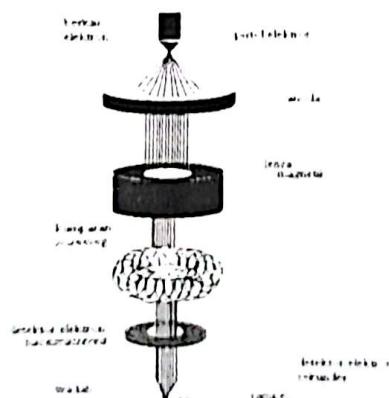
dengan d_{hkl} adalah jarak antar-bidang (interplanar spacing) (hkl) untuk sebuah kristal, θ adalah sudut Bragg dan λ adalah panjang gelombang radiasi. Hubungan antara ukuran kristal dengan lebar puncak difraksi sinar-x dapat dirumuskan dengan persamaan *Scherer*:

$$D = \frac{\lambda}{B \cos\theta} \quad (2,10)$$

dengan D merupakan ukuran diameter kristal, λ adalah panjang gelombang sinar-x yang digunakan, θ adalah sudut Bragg, B adalah FWHM (*Full Width at Half Maximum*) satu puncak yang dipilih.

2.9 Scanning Electron Microscopy-Electron Dispersive X-ray (SEM-EDX)

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan alat yang digunakan untuk mempelajari morfologi secara keseluruhan. Kelebihan menggunakan SEM yaitu preparasi sampel tidak menghabiskan banyak tenaga maupun waktu. Keterbatasan resolusi membuat teknik ini terbatas bagi kristal yang lebih besar dari 5 nm. Di atas level ini, bentuk, ukuran, dan distribusi ukuran mudah untuk dilakukan. Investigasi SEM telah dibuat pada banyak sistem dan berguna juga untuk studi struktur pori.



Gambar II.4. Skema Kerja SEM
Sumber: Hanke, 2001

Dari gambar II.4 menjelaskan bahwa sebuah pistol elektron memproduksi berkas elektron dan dipercepat pada anoda. Lensa magnetik kemudian memfokuskan elektron menuju sampel. Berkas elektron yang terfokus memindai keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh kumparan pemindai. Ketika elektron mengenai sampel, maka sampel akan mengeluarkan elektron yang baru yang akan diterima oleh detektor (Hanke, 2001).

Electron Dispersive X-ray (EDX) digunakan untuk mengenali jenis atom pada permukaan yang mengandung multiatom. Sebagian besar alat SEM dilengkapi dengan kemampuan ini tapi, tidak semua SEM memiliki fitur ini. Informasi yang dihasilkan EDX didapatkan dari sinar-x karakteristik, yaitu sinar-x yang dihasilkan ketika elektron dari kulit luar berpindah ke kulit yang lebih dalam. Setiap kulit atom memiliki energi tertentu, untuk memenuhi aturan tersebut maka elektron dari kulit luar harus melepaskan sebagian energi untuk dapat berpindah ke kulit atom yang lebih dalam. Energi yang dilepas dipancarkan dalam bentuk sinar-x.

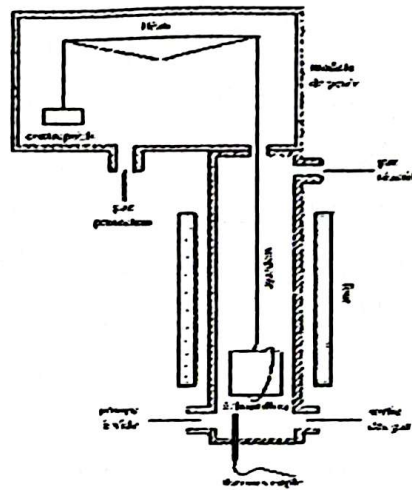
Energi pancaran elektron dalam bentuk sinar-x akan dideteksi dan dihitung oleh EDX dan akan dihasilkan keluaran berupa grafik puncak-puncak tertentu yang mewakili unsur yang terkandung. EDX juga memiliki kemampuan untuk melakukan pemetaan elemen dengan memberikan warna berbeda-beda dari masing-masing elemen di permukaan bahan. EDX juga dapat digunakan untuk menganalisa secara kuantitatif dari persentase masing-masing elemen (Qulub, 2011)

2.10 Thermal Gravimetric Analysis (TGA)

Analisis termal merupakan suatu teknik pengukuran perubahan sifat fisik dan kimia suatu sampel sebagai fungsi perubahan suhu. Pada umumnya, teknik analisa ini mengamati efek dari suatu material yang dipanaskan. Terdapat dua jenis analisa termal yang biasa digunakan yaitu *Thermogravimetry Analysis (TGA)* dan *Differential Thermal Analysis (DTA)*.

Analisis Termogravimetri adalah teknik untuk mengukur massa sampel ketika sedang dipanaskan, didinginkan atau diadakan isothermal dalam suasana yang telah ditetapkan. Terutama digunakan untuk analisa kuantitatif produk. Kurva TGA yang khas menunjukkan langkah-langkah kehilangan massa berkaitan dengan

hilangnya komponen volatil (kelembaban, pelarut, monomer), polimer dekomposisi, pembakaran karbon hitam, dan residu akhir (abu, filler, serat kaca). Metode ini memungkinkan untuk mempelajari dekomposisi produk dan bahan dan untuk menarik kesimpulan tentang konstituen masing-masing. Turunan pertama dari kurva TGA terhadap waktu dikenal sebagai kurva DTG; kurva ini sebanding dengan laju dekomposisi sampel. Dalam pengukuran TGA / DSC, sinyal DSC dan informasi berat dicatat secara bersamaan. Hal ini memungkinkan efek endotermik atau eksotermik untuk dideteksi dan dievaluasi (Hammer, 2010).



Gambar II.5. Skema Kerja TGA
Sumber: Nanjwade, 2013

2.11 *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

Spektrofometri inframerah merupakan salah satu alat yang dapat digunakan untuk menganalisa senyawa kimia. Spektra inframerah suatu senyawa dapat memberikan gambaran dan struktur molekul senyawa tersebut. Spektra inframerah dapat dihasilkan dengan mengukur absorpsi, radiasi, refleksi atau emisi di daerah inframerah. Daerah inframerah dibagi menjadi tiga sub daerah, yaitu inframerah dekat ($14000-4000\text{ cm}^{-1}$), inframerah sedang ($4000-400\text{ cm}^{-1}$) dan inframerah jauh ($400-10\text{ cm}^{-1}$) (Nugraha, 2008). Untuk pengukuran menggunakan inframerah biasanya berada pada daerah bilangan gelombang $400-4500\text{ cm}^{-1}$ karena merupakan daerah optimum untuk penyerapan sinar inframerah bagi ikatan-ikatan dalam senyawa organik. Spektrum inframerah memberikan keterangan tentang molekul. Kisaran serapan yang kecil dapat digunakan untuk menentukan tipe ikatan. Untuk

memperoleh interpretasi lebih jelas dibutuhkan tabel II.2 yang memaparkan korelasi dari inframerah.

Tabel II.2 Korelasi Inframerah

Jenis Ikatan	Tipe Senyawa	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)
C-H	Alkana (Uluran)	3000-2850
	-CH ₃ - (Tekukan)	1450 dan 1375
	-CH ₂ - (Tekukan)	1465
	Alkena (Uluran)	3100-3000
	Aromatik (Uluran)	3150-3050
	Alkalin (Uluran)	3300
	Aldehid	2900-2700
C-C	Alkana	Tidak terinterpretatif
C=C	Alkena	1680-1600
	Aromatik	1600 dan 1475
C≡C	Alkana	2250-2100
C=O	Aldehid	2900-2700
	Keton	1725-1705
	Asam karboksilat	1725-1700
	Ester	1750-1730
	Anhidrida	1810 dan 1760
	Asam Klorida	1800
	Amida	1680-1630
C-O	Alkohol, Eter, Ester, Asam Karboksilat, Anhidrida	1300-1000
O-H	Alkohol, Fenol	3650-3600
	Asam Karboksilat	3400-2400
N-H	Amina Amida (Uluran)	3500-3100
	Amina Amida (Puntiran)	1640-1550
C-N	Amina	1350-1000
C≡N	Nitril	2260-2240
X=C=Y	Alkena, Isosianat, Isotiosianat	2270-1940
N=O	Nitro (R-NO ₂)	1550 dan 1350
S-H	Merkaptan	2550

Jenis Ikatan	Tipe Senyawa	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)
S=O	Sulfoksida	1050
	Sulfonat, Sulfonit Klorida, Sulfat, Sulfonamida	1375-1300 dan 1350-1140
C-X	Fluorida	1400-1000
	Klorida	785-540
	Bromida, Iodida	<667

Sumber: Pavia dkk, 2009

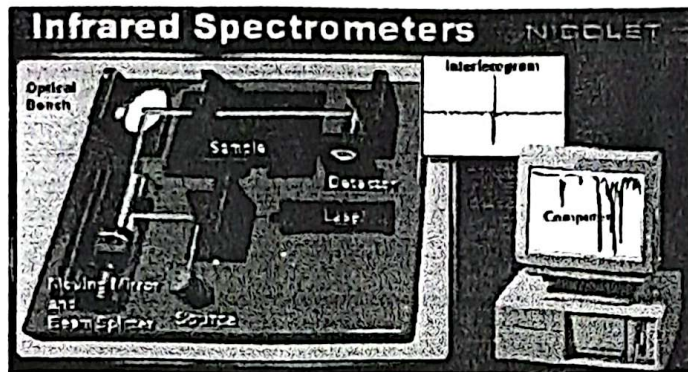
Spektroskopi FTIR merupakan metode spektrofotometri inframerah modern yang dilengkapi dengan teknik *fourier transform* untuk mendeteksi dan analisis hasil spektrumnya. Dalam hal ini metode spektroskopi yang digunakan adalah metode spektroskopi absorpsi, yaitu metode spektroskopi yang didasarkan atas perbedaan penyerapan radiasi inframerah oleh molekul suatu materi. Absorpsi infra merah oleh suatu materi dapat terjadi jika dipenuhi dua syarat, yakni kesesuaian antara frekuensi radiasi infra merah dengan frekuensi vibrasional molekul sampel dan perubahan momen dipol selama bervibrasi.

Adapun prinsip dari FTIR adalah sebagai berikut :

- Penyerapan sinar inframerah oleh molekul/ikatan yang bervibrasi.
- Penyerapan sinar inframerah menyebabkan berubahnya frekuensi vibrasi.
- Sinar yang diserap karakteristik untuk setiap ikatan.

Spektroskopi FTIR adalah teknik pengukuran untuk mengumpulkan spektrum inframerah. Energi yang diserap sampel pada berbagai frekuensi sinar inframerah direkam, kemudian diteruskan ke interferometer. Sinar pengukuran sampel diubah menjadi interferogram. Perhitungan secara matematika *fourier transform* untuk sinyal tersebut akan menghasilkan spektrum yang identik pada spektroskopi inframerah (Nugraha, 2008).

FTIR sangat berguna untuk mengidentifikasi bahan kimia yang baik organik atau anorganik. Hal ini dapat dimanfaatkan untuk menduga jumlah beberapa komponen dari suatu campuran yang tidak diketahui dan juga dapat diterapkan pada analisis padatan, cairan, dan gas.



Gambar II.6 Prinsip kerja FTIR
 Sumber: Nugraha, 2008

FTIR terdiri dari 5 bagian utama (Nugraha, 2008) :

1. Sumber sinar, yang terbuat dari filamen Nerst atau globar yang dipanaskan menggunakan listrik hingga temperatur 1000-1800°C
2. *Beam splitter*, berupa material transparan dengan indeks relatif sehingga menghasilkan 50% radiasi akan direfleksikan dan 50% radiasi akan diteruskan.
3. Interferometer, merupakan bagian utama dari FTIR yang berfungsi untuk membentuk interferogram yang akan diteruskan menuju detektor.
4. Daerah cuplikan, di mana berkas acuan dan cuplikan masuk ke dalam daerah cuplikan dan masing-masing menembus sel acuan secara bersesuaian.
5. Detektor, merupakan piranti yang mengukur energi pancaran yang lewat akibat panas yang dihasilkan. Detektor yang sering digunakan adalah termokopel dan balometer.

Prinsip kerja alat FTIR yaitu sinar yang datang dari sumber sinar akan diteruskan dan kemudian akan dipecah oleh pemecah sinar menjadi dua bagian sinar yang saling tegak lurus. Sinar ini kemudian dipantulkan oleh dua cermin yaitu cermin diam dan cermin bergerak. Sinar hasil pantulan kedua cermin akan dipantulkan kembali menuju pemecah sinar untuk saling berinteraksi. Dari pemecah sinar, sebagian sinar akan diarahkan menuju cuplikan dan sebagian menuju sumber. Gerakan cermin yang maju mundur akan menyebabkan sinar yang sampai pada detektor akan berfluktuasi. Sinar akan saling menguatkan ketika kedua cermin memiliki jarak yang berbeda. Fluktuasi sinar yang sampai pada detektor ini akan menghasilkan sinyal pada detektor yang disebut interferogram. Interferogram

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada 1 Maret – 30 April 2017 di Pusat Teknologi Material Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (PTM-BPPT) Gedung 224, Kawasan PUSPIPTEK, Serpong, Tangerang Selatan 15314, pengujian XRD dan SEM-EDX di Pusat Penelitian Fisika LIPI Kawasan PUSPIPTEK sedangkan penyusunan laporan dilakukan di PTM-BPPT dan Politeknik STMI Jakarta.

3.2 Alat dan Bahan

Bahan dan alat yang digunakan adalah

Bahan :

1. Cerium nitrat heksahidrat ($\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)
2. Gadolinium nitrat heksahidrat ($\text{Gd}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)
3. Asam sitrat monohidrat ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$)
4. Aqua DM
5. *Acrysol*
6. Etanol
7. *Lanthanum Strontium Cobalt Ferrite - Gadolinium doped Ceria (LSCF-GDC)*
8. Terpeneol
9. Polietilen Glikol 400 (PEG 400)

Alat:

1. Beaker glass 100 ml
2. Beaker glass 1000 ml
3. Spatula
4. Kertas timbang
5. Timbangan analitik
6. *Hot plate*

7. *Magnetic stirrer*
8. Termometer
9. Oven
10. *furnace*
11. Alumunium foil
12. *Ball mill*
13. Alat press hidrolis
14. TGA
15. FTIR

3.3 Variabel

a. Variabel Tetap

Variabel tetap merupakan variabel yang dibuat tidak berubah selama proses penelitian berlangsung sehingga tidak menyebabkan terjadinya perubahan variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu :

- a. Cerium nitrat heksahidrat : 20 gram (dalam 50 ml)
- b. Gadolinium nitrat heksahidrat : 2 gram (dalam 50 ml)
- c. Asam sitrat monohidrat : 13 gram (dalam 50 ml)

b. Variabel Berubah

Variabel berubah adalah variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas. Variabel terikat berfungsi untuk mengetahui pengaruh dari variabel bebas. Pada penelitian ini variabel berubahnya adalah waktu operasi (*holding time*) pada sintering.

- a. Sintering GDC₁₀ selama 2 jam
- b. Sintering GDC₁₀ selama 5 jam

3.4 Prosedur

3.4.1. Sintesis elektrolit GDC₁₀ (Ce_{0.9}Gd_{0.1}O_{1.95})

1. Persiapan alat dan menimbang bahan-bahan yang akan digunakan sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya, antara lain :

- a. Cerium nitrat heksahidrat : 20 gram (dalam 50 ml)
- b. Gadolinium nitrat heksahidrat : 2 gram (dalam 50 ml)

c. Asam sitrat monohidrat : 13 gram (dalam 50 ml)

Pelarut yang digunakan adalah Aqua DM

2. Masing-masing prekursor dilarutkan dalam beaker glass kecil kemudian dicampur ke dalam beaker glass besar
3. Asam sitrat dilarutkan dalam aqua DM, lalu ditambahkan ke dalam larutan prekursor sambil terus diaduk menggunakan *stirrer*.
4. Temperatur dinaikkan hingga 80 °C sambil diaduk, hingga berubah warna menjadi kuning terbentuk *foam*. Waktu yang dibutuhkan ± 1 jam.
5. Sampel didinginkan hingga mencapai suhu kamar, kemudian dioven dengan suhu 110 °C selama 24 jam.
6. Setelah proses pengeringan selesai, sampel GDC₁₀ dihaluskan dengan menggunakan mortar.
7. Setelah kering, dihaluskan menggunakan mortar dan *pestle* untuk kemudian kalsinasi pada suhu 600 °C selama 5 jam.
8. Pencetakan pelet sampel GDC₁₀ yang sudah dikalsinasi.
 - 1) Timbang sampel sebanyak 1,5 gram.
 - 2) Larutan binder berupa *acrysol* sebanyak 0,5 gr dan etanol 10 ml dimasukkan ke *beaker glass*, kemudian diaduk sebentar agar larutan homogen diatas *magnetic stirrer*.
 - 3) Sampel dimasukkan ke dalam larutan, sambil diaduk selama ± 10 menit.
 - 4) Kemudian larutan sampel dikeringkan di dalam oven ± 3 jam dengan suhu 110 °C.
 - 5) Dinginkan, lalu masukan sampel ke cetakan pellet pada alat press hidrolik. Ditekan dengan tekanan 3 ton selama 10 detik.
 - 6) Pelet disintering dengan variabel *hold time*, yaitu selama 2 jam dan 5 jam pada suhu 1350 °C.
9. Sampel yang sudah menjadi pelet sel elektrolit GDC₁₀ kemudian diuji densitas. Suatu pelet sel elektrolit GDC₁₀ dikatakan memenuhi kriteria uji densitas apabila hasil uji densitas yang didapatkan > 95%.

3.4.2. Pembuatan pasta katoda LSCF-GDC

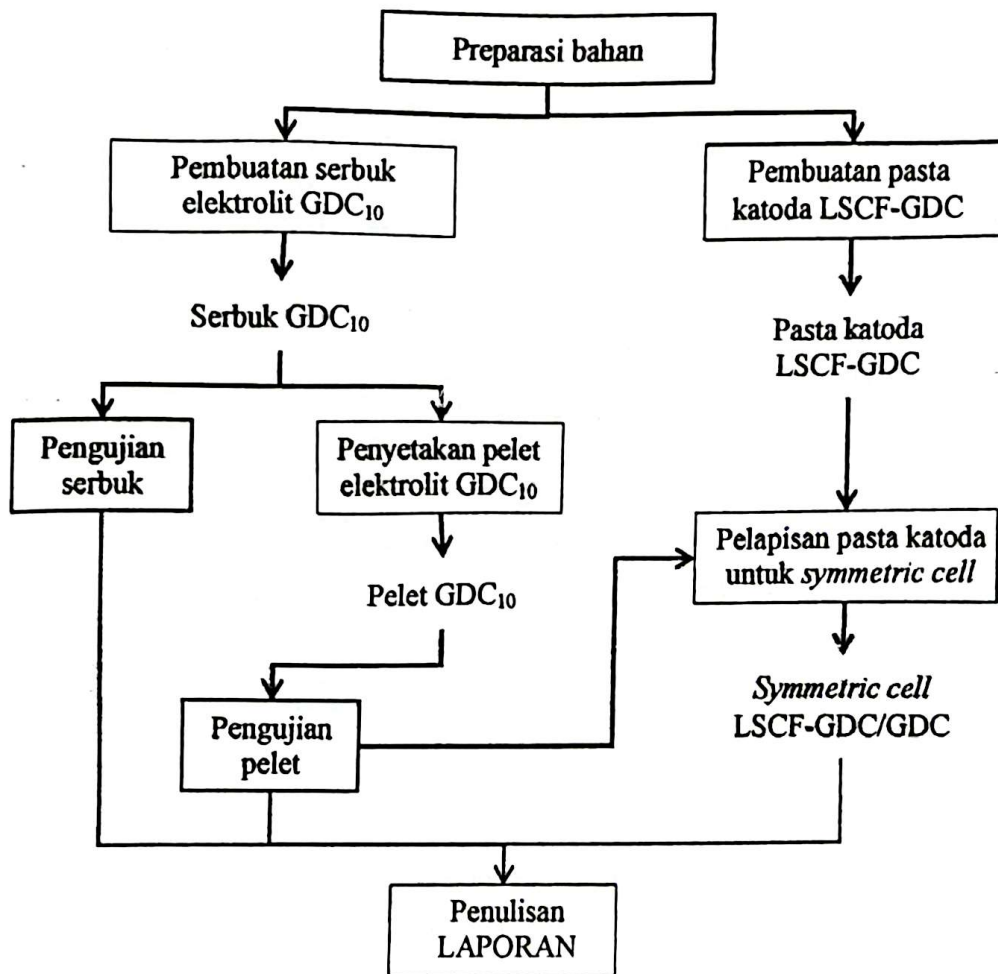
1. Persiapan alat dan menimbang bahan-bahan yang akan digunakan
 - a. Serbuk LSCF-GDC \therefore basis = 2,00 gram
 - b. Terpeneol = 1,25 gram
 - c. Polietilen glikol 400 = 0,08 gram
2. Serbuk LSCF-GDC dicampur dengan binder berupa bahan organik.
3. Perbandingan serbuk LSCF-GDC dengan Binder sebanyak 60% : 40%, dengan perbandingan binder (94 wt% terpeneol dan 6 wt% Polietilen glikol 400).
4. Bahan-bahan tersebut dimasukkan ke dalam *jar* untuk diaduk dalam *ball mill* selama 12 jam. [3]

3.4.3 Pembuatan *symmetric cells* (*half cell*)

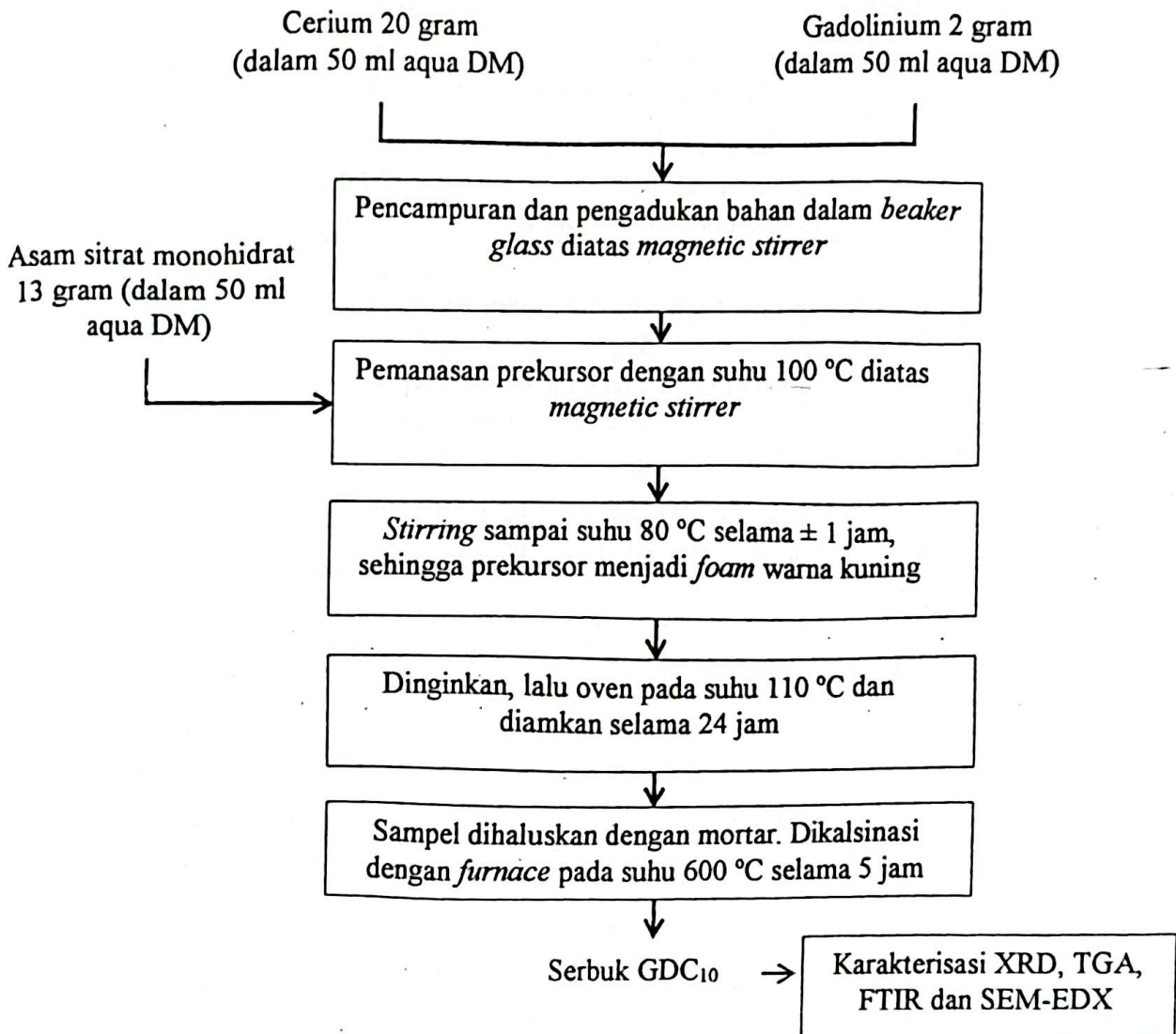
1. Persiapan alat dan bahan untuk pelapisan pasta katoda LSCF-GDC pada pelet elektrolit GDC₁₀ dengan menggunakan teknik pelapisan sederhana (dasar).
2. Buat cetakan bulat pada solatip dengan diameter \pm 1 cm
3. Tempelkan solatip tersebut ke pelet sesuai letak pusat pelet
4. Oleskan pasta katoda dengan menggunakan *doctor blade* diatas *hot plate* pada suhu \pm 50-80 °C
5. Pelet yang sudah dilapisi, disintering dengan suhu 900 °C.

3.4.4 Diagram Alir Penelitian

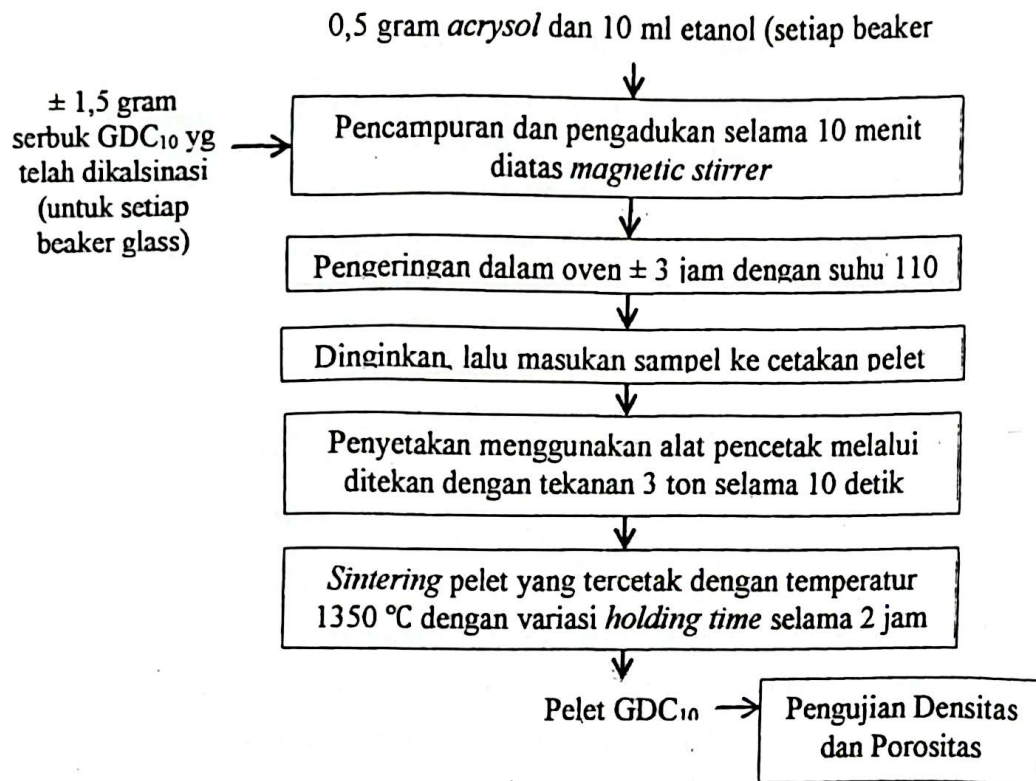
Diagram alir penelitian ini dibagi menjadi 4 tahapan, yaitu sintesis GDC₁₀ dengan metode sol-gel, pencetakan pelet GDC₁₀, pembuatan pasta katoda LSCF, dan pelapisan pasta katoda sehingga menjadi *symmetric cells*.



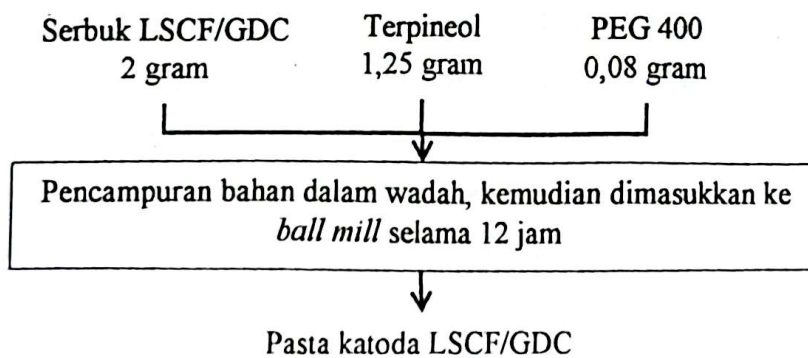
Gambar III. 1 Diagram Metodologi Penelitian



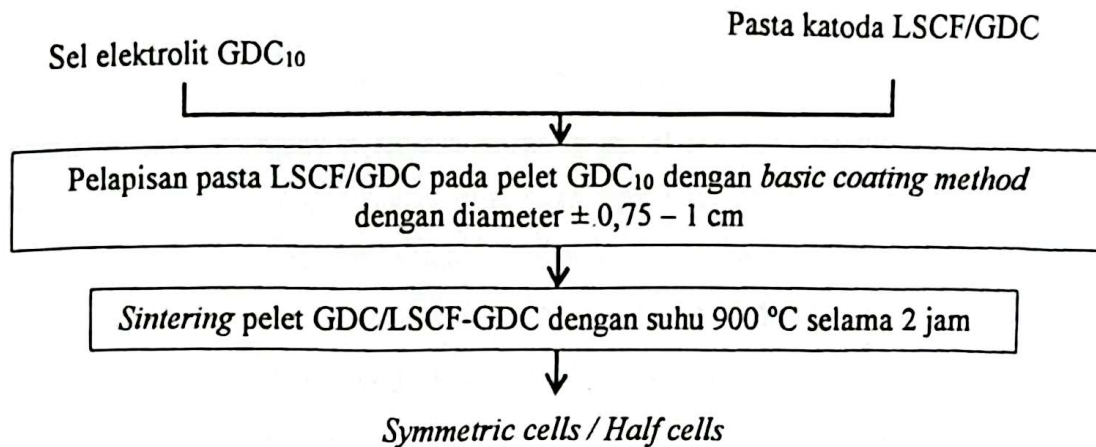
Gambar III.2 Diagram Alir Sintesis Serbuk Sel Elektrolit GDC₁₀



Gambar III.3 Diagram Alir Pencetakan Pelet Elektrolit GDC_{10}



Gambar III.4 Diagram Alir Pembuatan Katoda LSCF/GDC



Gambar III.5 Diagram Alir Pelapisan Pasta untuk *Symmetric Cells*

3.5 Pengujian GDC_{10}

3.5.1 Prosedur Pengujian Serbuk GDC_{10} dengan XRD

Mekanisme kerja analisis XRD ini yakni material yang akan dianalisis digerus sampai halus kemudian dipreparasi lebih lanjut menjadi lebih padat dalam suatu *holder*. *Holder* tersebut diletakkan pada alat XRD dan diradiasi dengan sinar X. Data hasil penyinaran sinar-X berupa spektrum difraksi sinar-X. Data difraksi tersebut direkam dan dicatat oleh komputer dalam bentuk grafik *peak* intensitas.

Komponen utama XRD yaitu terdiri dari tabung katoda (tempat terbentuknya sinar-X), sampel holder dan detektor. Pada XRD yang berada di Laboratorium LIPI Fisika ini menggunakan sumber Co dengan komponen lain berupa cooler yang digunakan untuk mendinginkan, karena ketika proses pembentukan sinar-X dikeluarkan energi yang tinggi dan menghasilkan panas. Kemudian seperangkat komputer dan CPU.

Suatu kristal yang dikenai oleh sinar-X tersebut berupa material (sampel), sehingga intensitas sinar yang ditransmisikan akan lebih rendah dari intensitas sinar datang. Berkas sinar-X yang dihamburkan ada yang saling menghilangkan (interferensi destruktif) dan ada juga yang saling menguatkan (interferensi konstruktif).

3.5.2 Prosedur Pengujian Serbuk GDC_{10} dengan TGA

TGA merupakan teknik analisis yang digunakan untuk menentukan stabilitas panas suatu senyawa dengan melihat perubahan massa yang hilang ketika sampel dipanaskan. TGA terdiri dari sebuah *sample pan* yang didukung

oleh sebuah *precision balance*. *Pan* tersebut ditempatkan dalam suatu furnace dan dipanaskan atau didinginkan selama eksperimen. Massa dari sampel dipantau selama eksperimen. Sampel dialiri oleh suatu gas inert atau gas reaktif yang mengalir melalui sampel dan keluar melalui *exhaust*. Pertama, dialirkan gas nitrogen dengan *flowrate* 40 ml/menit ke dalam furnace TG dan dialirkan gas selanjutnya gas oksigen dengan *flowrate* 60 ml/menit. Kemudian sampel dengan berat 30-40 mg dimasukkan kedalam wadah platina yang berada didalam furnace. Temperatur dinaikkan dengan *rate* 10°C/menit dan selama 100 menit hingga suhu 1000°C. Pengurangan fraksi massa sampel selama eksperimen dicatat (ASTM E1131).

3.5.3 Prosedur Pengujian Serbuk GDC₁₀ dengan FTIR

GDC₁₀ berbentuk serbuk dan telah dikalsinasi, kemudian ditimbang ± 1 mg sebagai sampel karakterisasi FTIR. Sampel yang sudah siap diletakkan pada sampel holder dan menempatkannya pada lintasan sinar alat FTIR. Melakukan pengukuran dan menjalankan program dengan alat FTIR. Setelah itu, mengamati grafik yang terbentuk. Simpan data dan melakukan analisis terhadap data yang dihasilkan.

3.5.4 Prosedur Pengujian Serbuk GDC₁₀ dengan SEM-EDX

Karakterisasi sampel dengan SEM-EDX yaitu tahap pertama adalah sampel diletakkan pada *specimen holder* dengan menggunakan *double sticky tip* untuk mendapatkan posisi spesimen yang *rigid*, kemudian diletakkan lapisan tipis (*coating*) oleh *gold-palladium* (Au: 80% dan Pd: 20%) dengan menggunakan mesin Ion Sputter JFC-1600.

Setelah itu, sampel dimasukkan ke dalam *specimen chamber* pada mesin 30 SEM JEOL JSM-6390A untuk melakukan observasi pada spesimen uji sebelum dilakukan pemotretan. Pemotretan dilakukan dengan menggunakan perbesaran yang diinginkan untuk mengetahui butiran, batas butir, keretakan, dan dislokasi. Hasil gambar SEM yang diperoleh, selanjutnya ditentukan pengambilan titik yang akan ditembak EDX. Hasil dari EDX yaitu tampilan grafik prosentase berupa (mass%) dan (atom%) dari unsur yang terkandung didalam bahan. Unsur

yang ditampilkan pada grafik bisa dipilih sesuai yang dikehendaki (Cahyana, A., A. Marzuki, C. Cari, 2014).

3.5.5 Prosedur Pengujian Densitas Pelet GDC₁₀

Pengukuran densitas pelaksanaannya mengacu pada standar ASTM C. 373-72 dengan prosedur kerja untuk menentukan besarnya densitas relatif (g/cm³) dengan Hukum Archimedes.

Pelet yang telah disinter ditimbang beratnya hingga konstan (M_k). Air dituangkan kira-kira 5/4 dari volume gelas beaker dan diletakkan tiang penyangga sampel di atas neraca. Pelet yang sudah ditimbang berat keringnya kemudian dimasukkan ke dalam air dan ditimbang massa basahnya (M_b). Pelet diangkat dan dikeringkan permukaannya yang selanjutnya ditimbang kembali (M_s). Pelet yang telah ditimbang kemudian ditimbang di dalam oven pada suhu 110°C selama 12 jam. Perhitungan densitas pelet menggunakan rumus;

$$\rho = \frac{(M_s) - (M_k)}{\rho_{air}} \times 100\% \quad (3.1)$$

Dimana :

- ρ_{air} = densitas air (g/cm³)
- M_k = Massa kering (gram)
- M_b = Massa basah (gram)
- M_s = Massa saturasi (gram)

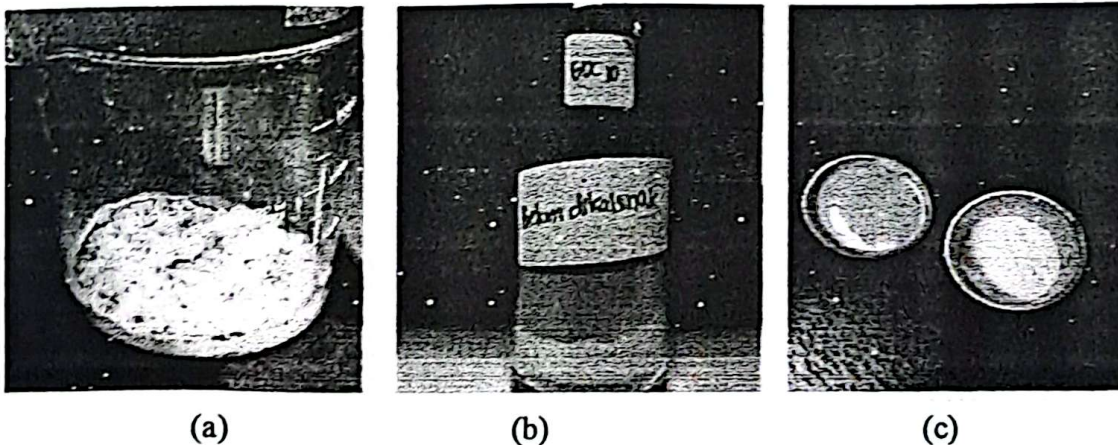
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan pelet GDC_{10} dengan bahan-bahan yang telah disebutkan pada BAB III. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan *holding time* sintering pelet GDC_{10} dengan temperatur $1350^{\circ}C$.

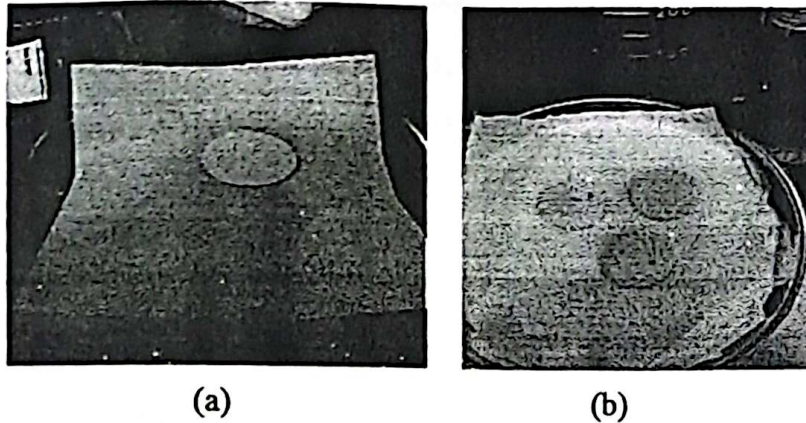
4.1 Hasil Sintesis Serbuk GDC_{10}

GDC_{10} disintesis dengan metode sol-gel sehingga melibatkan larutan sebagai mediana. Dimulai dari penimbangan bahan-bahan hingga terbentuk menjadi pelet GDC_{10} .



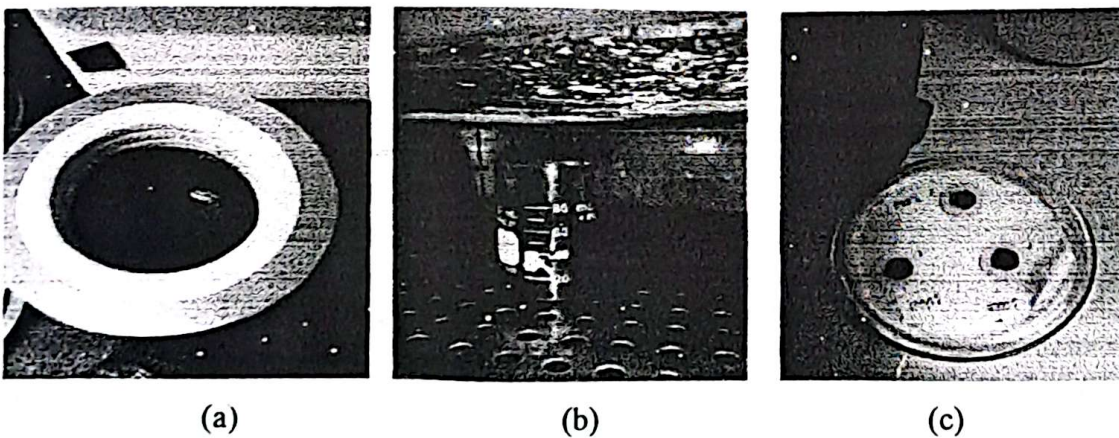
Gambar IV.1 (a) hasil pengadukan *magnetic stirer* prekursor membentuk foam berwarna kuning; (b) hasil peng-ovenan serbuk; (c) hasil setelah proses kalsinasi

Gambar IV.1 (a) dan (b) menunjukkan perubahan warna dari hasil pengadukan *magnetic stirer* yang berwarna kuning menjadi kecoklatan ketika setelah di-oven. Perubahan warna serbuk ini kemungkinan terjadi karena oksidasi. Perubahan warna juga terjadi pada serbuk setelah melalui proses kalsinasi (c) menjadi warna putih. Perubahan warna serbuk ini kemungkinan menunjukkan adanya dekomposisi senyawa organik. Pemberian temperatur kalsinasi ini sama artinya dengan memberi energi aktivasi pada atom penyusun bahan tersebut sehingga dengan adanya energi aktivasi menyebabkan atom penyusun bahan akan bervibrasi kemudian melepaskan ikatannya dan bergerak ke posisi baru atau berpindah ke kisi lainnya, proses tersebut sering disebut proses difusi.



Gambar IV.2 (a) pelet GDC_{10} ; (b) pelet GDC_{10} setelah disintering dan diampelas

Gambar IV.2 (a) menunjukkan gambar pelet hasil pencetakan menggunakan alat pencetak dengan tekanan 3 ton selama 10 detik. Tekstur pelet tersebut masih rapuh dan mudah patah sehingga harus dilakukan sintering agar ketahanannya lebih kuat dan mengkilap. Gambar IV.2 (b) adalah pelet GDC_{10} setelah disintering. Proses sintering menyebabkan bersatunya partikel sedemikian rupa sehingga kepadatan serbuk bertambah.



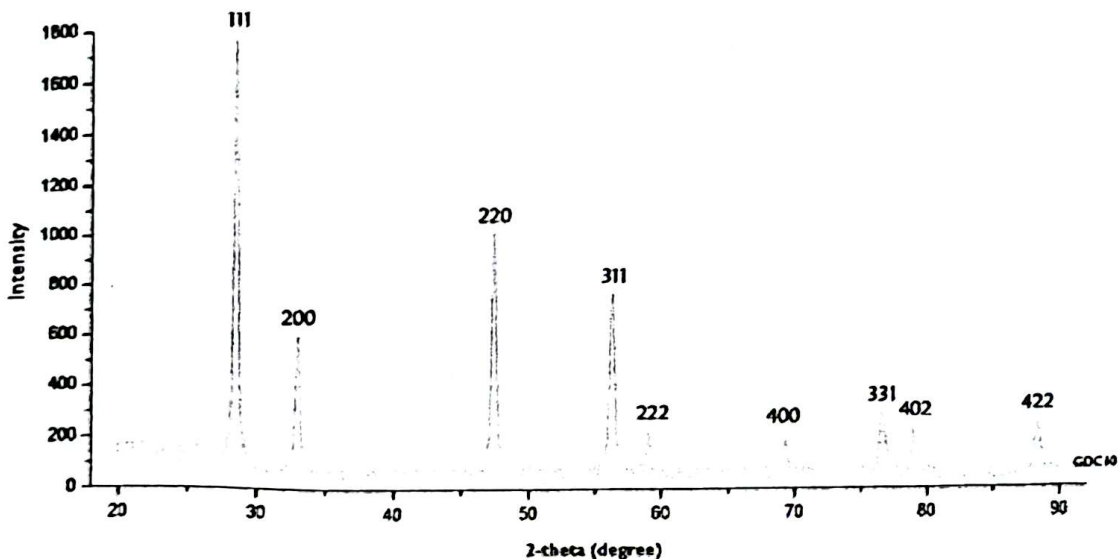
Gambar IV.3 (a) pasta katoda LSCF-GDC; (b) pengovenan katoda LSCF-GDC; (c) pelet GDC_{10} setelah dilapisi pasta katoda LSCF-GDC dan disintering (*symmetric cells*)

Gambar IV.3 (a) menunjukkan pasta katoda LSCF-GDC setelah pencampuran serbuk LSCF-GDC dengan pelarut di *ball mill*. Gambar IV.3 (b) menunjukkan gambar pengovenan pasta katoda LSCF-GDC untuk menghilangkan sisa-sisa etanol pada pasta. Setelah itu pasta siap digunakan untuk melapisi pelet elektrolit GDC_{10} . Pada metode pelapisan pasta katoda yang digunakan adalah

metode dasar pelapisan (*basic coating method*). Metode ini menggunakan *hot plate* sebagai media pemanas dan pengeringnya, *doctor blade* sebagai alat pengoles pasta LSCF-GDC di pelet elektrolit GDC_{10} dan selotip sebagai media yang dibuat pola lingkaran lalu ditempel di pelet elektrolit GDC_{10} untuk membuat area yang akan dilapisi katoda LSCF-GDC. Gambar IV.3 (c) menunjukkan pelet elektrolit GDC_{10} setelah dilapisi pasta katoda LSCF-GDC dan disinterring. Pelet tersebut sudah bisa dikatakan sebagai *symmetric cells*.

4.2 Pembahasan Hasil dan Analisa Pengujian GDC_{10}

1. Hasil dan Analisa Uji XRD Serbuk GDC_{10}



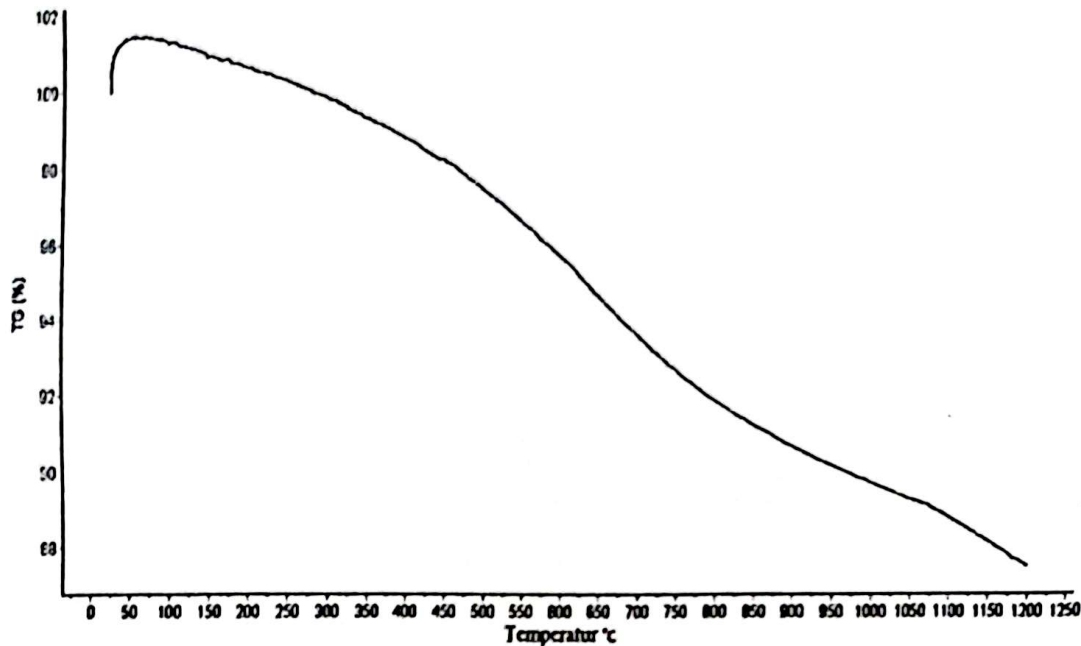
Gambar IV.4 Hasil Uji XRD Serbuk GDC_{10}

Dari pola hasil karakterisasi XRD pada Gambar IV.4 menunjukkan adanya beberapa puncak $Ce_{0.9}Gd_{0.1}$ yang muncul, yang merupakan fase dari Gadolinium dan Cerium. Puncak difraksi memberikan gambaran tentang jarak antar bidang (d), struktur kristal dan orientasi dari sel satuan (d_{hkl}). Pola ini menunjukkan fase kristal kaya akan Ce (kubik).

Mengacu pada perhitungan rumus Bragg dan rumus Scherrer, diperoleh hasil rata-rata jarak antar bidang adalah $1,763 \text{ \AA}$ dan ukuran diameter kristal sekitar $25,089 \text{ nm}$. Hasil penelitian ini berbeda tipis dengan penelitian lain dengan ukuran kristal $24,9 \text{ nm}$. (Accardo dkk., 2016). Ukuran kristal yang diperoleh berbanding

terbalik dengan nilai FWHM, sampel yang memiliki FWHM yang rendah akan menghasilkan ukuran kristal yang lebih besar.

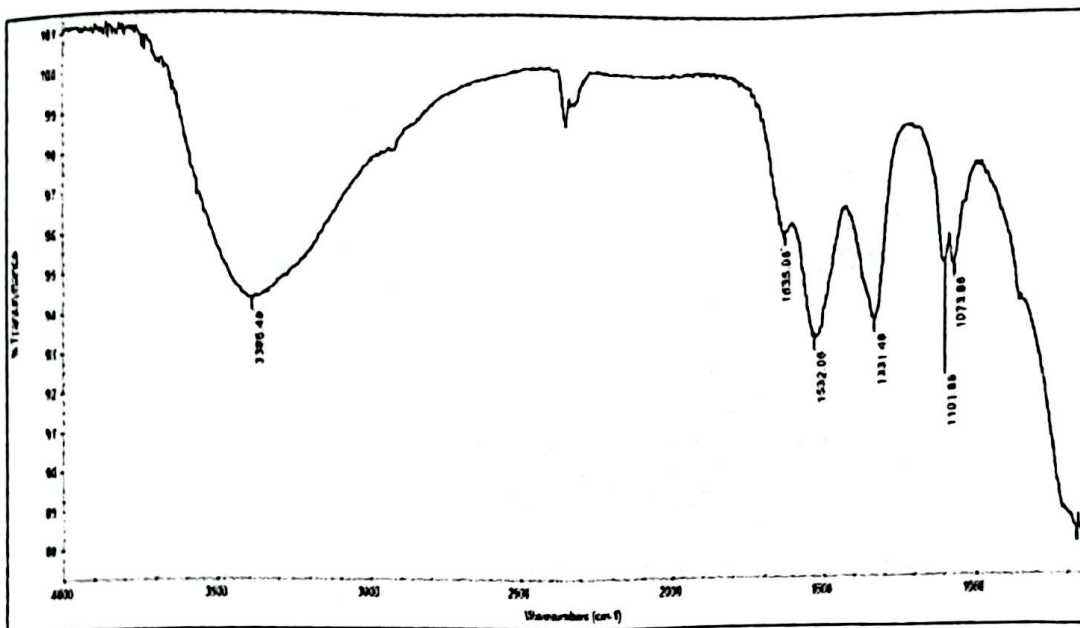
2. Hasil dan Analisa Uji TGA Serbuk GDC₁₀



Gambar IV.5. Hasil Uji TGA Serbuk GDC₁₀ 1200 TG

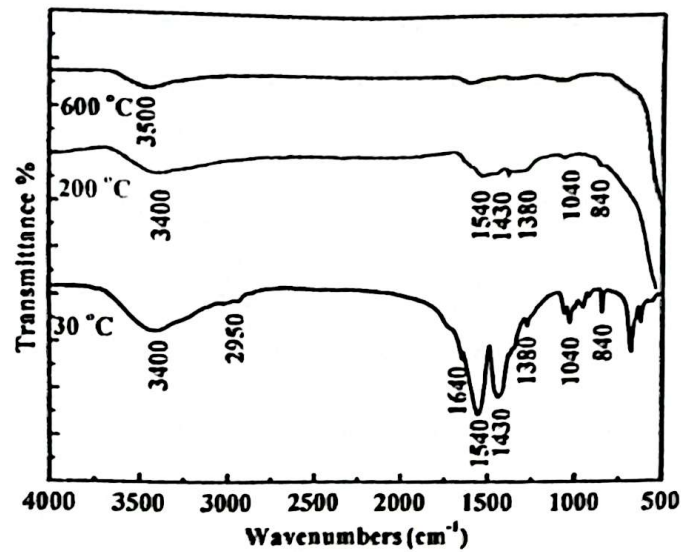
Analisis termal merupakan teknik untuk mengukur sifat fisis suatu bahan dan atau hasil reaksi yang diukur sebagai fungsi temperatur. Gambar IV.5 grafik TGA memberikan informasi mengenai pengurangan massa yang terjadi pada sampel terhadap temperatur yang diberikan yang diawali dengan kenaikan massa. Kenaikkan massa terjadi pada sekitar suhu 50°C karena kandungan organik pada sampel yaitu 12% dan kandungan oksigen sudah hilang. Kenaikkan massa juga disebabkan karena perlakuan *heat treatment* saat kalsinasi 600°C sehingga terjadi proses oksidasi. Kemudian mulai temperatur 100°C hingga temperatur 1200°C mengalami dekomposisi dan dehidrasi dimana terjadi penurunan berat massa yang diakibatkan karena kehilangan air, unsur volatil dan karbon.

3. Hasil dan Analisa Uji FTIR Serbuk GDC₁₀



Gambar IV.6 Hasil FTIR Serbuk GDC₁₀

Dari Gambar IV.7 Hasil pengujian FTIR GDC setelah kalsinasi dengan suhu 600 °C menunjukkan bahwa terdapat puncak pada panjang gelombang 3386,49 cm⁻¹ dengan %Transmittance 94,5 yang berarti pada material GDC mengandung uluran jenis ikatan N-H. Selain itu puncak juga muncul pada panjang gelombang 1635,95 cm⁻¹ dengan %Transmittance 96,25 mengandung jenis ikatan N-H dan gelombang 1532,05 cm⁻¹ dengan %Transmittance 93,5 yang berarti pada puncak itu material GDC mengandung jenis ikatan C=C. Kemudian puncak pada gelombang 1331,48 cm⁻¹ dengan %Transmittance 94 material GDC mengandung gugus fungsi C-N. Puncak juga terdapat pada gelombang 1101,68 cm⁻¹ dengan %Transmittance 96 dan gelombang 1073,85 cm⁻¹ dengan %Transmittance 96 mengandung ikatan jenis C-O. Gambar IV.6 mirip dengan gambar spektrum GDC₁₀ pada penelitian yang sudah ada, yang ditunjukkan pada gambar IV.7



Gambar IV.7 Hasil FTIR Serbuk GDC_{10} penelitian sebelumnya
 Sumber : Ai Zhu, 2013

4. Hasil dan Analisa Uji SEM-EDX Serbuk GDC_{10}



Gambar IV.8 Hasil Uji SEM Serbuk GDC_{10}

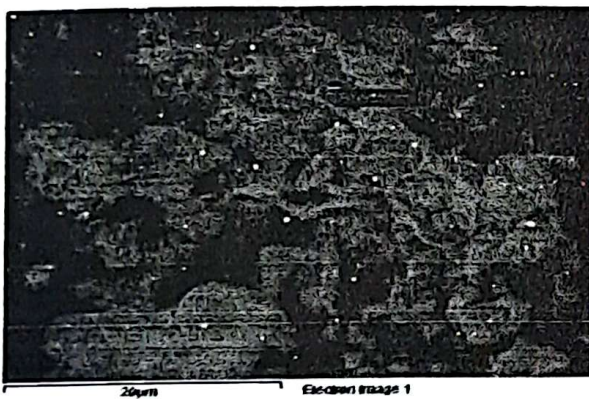
Pada Gambar IV.8 menunjukkan ukuran partikel serbuk elektrolit GDC_{10} yang memiliki ukuran berbeda-beda. Dari gambar tersebut terlihat serbuk ada yang memiliki ukuran 222 nm, 291 nm, 835 nm, 427 nm dan 495 nm. Ukuran-ukuran tersebut dapat dikatakan bubuk elektrolit GDC_{10} memiliki ukuran partikel besar atau mengalami penggumpalan. Hal ini mungkin hasil dari aglomerasi partikel yang terjadi karena pengaruh suhu. Hasil uji SEM penelitian elektrolit GDC yang dilakukan oleh Anjaneya (2016) menggunakan *EDTA-citrate complexing method*

dengan suhu kalsinasi yang sama menunjukkan bahwa elektrolit GDC mempunyai struktur retikuler atau bentuk aglomerat kaku. Bentuk ini terjadi karena pengaruh senyawa organik di dalam prekursor.



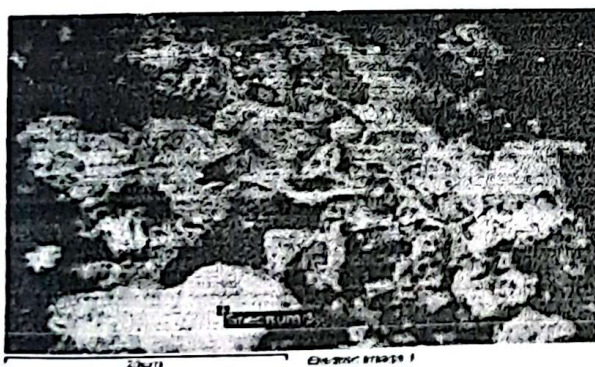
(a)

Element	Weight%	Atomic%
O K	43.23	87.09
Ce L	50.79	11.68
Gd L	5.99	1.23
Totals	100.00	



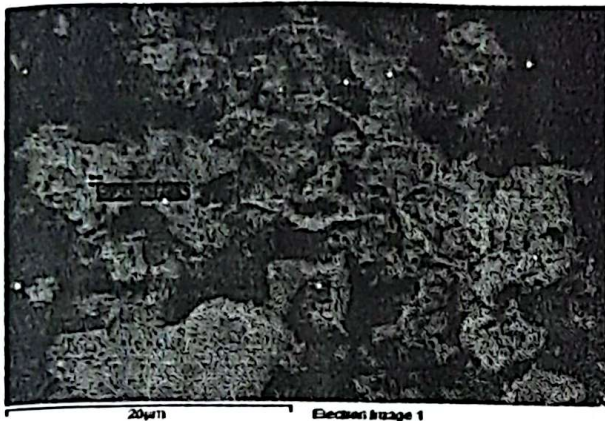
(b)

Element	Weight%	Atomic%
O K	44.85	87.83
Ce L	48.64	10.88
Gd L	6.50	1.30
Totals	100.00	



(c)

Element	Weight%	Atomic%
O K	32.18	80.79
Ce L	60.47	17.33
Gd L	7.35	1.88
Totals	100.00	



(d)

Element	Weight%	Atomic%
O K	30.26	79.36
Ce L	62.25	18.64
Gd L	7.49	2.00
Totals	100.00	

Gambar IV.9 Hasil Uji EDX Serbuk GDC₁₀ (a) Spektrum 1; (b) Spektrum 2; (c) Spektrum 3; (d) Spektrum 4

Gambar IV.9 Hasil Uji EDX menunjukkan spektrum-spektrum analisa komposisi kimia yang terkandung pada elektrolit. Pada Gambar IV.9 (a) spektrum 1 diketahui terdapat elemen Gd, Ce, dan O dengan persen berat sebesar 5,99% ; 50,79 % ; 43,23 %. Pada Gambar IV.9 (b) spektrum 2 elemen Gd, Ce, dan O mengandung persen berat masing-masing sebesar 6,50% ; 48,64 % ; 44,85%. Kemudian pada Gambar IV.9 (c) spektrum 3 elemen Gd, Ce, dan O memiliki persen berat sebesar 7,35% ; 60,47% ; 32,18%. Pada Gambar IV.9 (d) spektrum 4, persen berat untuk elemen Gd, Ce, dan O yaitu 7,49% ; 62,25% ; 30,26%. Hal ini dapat disimpulkan bahwa pada serbuk elektrolit GDC₁₀ komposisi kimia paling dominan pada elektrolit yaitu Ce (Cerium) dengan persentasi berat rata-rata 55,5%.

5. Pengujian Densitas dan Porositas

Perhitungan densitas pelet menggunakan rumus;

$$\rho = \frac{(Ms)-(Mk)}{\text{Densitas atr}} \times 100\% \quad (4.1)$$

Tabel IV.1 Perhitungan Densitas dan Porositas Pelet GDC₁₀ dengan Variasi Holding Time

No.	Pelet	holding time	Massa Kering (gram)	Massa dalam Air (gram)	Massa Saturasi (gram)	Porositas (%)	Densitas (%)
1	GDC ₁₀	5 jam	1,3970	1,1872	1,3993	0,2305	99,7695
2	GDC ₁₀	2 jam	1,4088	1,1993	1,4198	1,1036	98,8964

Hasil pengujian densitas keseluruhan sampel menunjukkan densitas di atas 95% yang berarti sampel telah memenuhi syarat sel elektrolit untuk SOFC (Peterson, 1994). Pada pembuatan GDC₁₀ dengan metode asetat-akrilik, didapatkan densitas rata sebesar 99,0% (Ai Zhu dkk., 2013). Sel elektrolit perlu memiliki kepadatan di atas 95%, hal ini untuk mencegah porositas terbuka sehingga gas yang digunakan sebagai reaktan tidak mengalami perpindahan dari anoda ke katoda dan sebaliknya. Besarnya densitas dari suatu material dapat dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu temperatur kalsinasi dan sintering, dan tekanan yang diberikan pada suatu material, dapat menyebabkan berkurangnya volume sehingga meningkatnya densitas (Dasari dkk., 2010). Zhang dkk (2004) berpendapat bahwa bubuk yang dikalsinasi pada temperatur 600°C dapat meningkatkan densitas ketika dijadikan pelet dan disintering.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan:

1. Serbuk elektrolit GDC₁₀ memiliki karakteristik sebagai berikut:
 - a. Ukuran partikel-partikel besar dan menggumpal dengan unsur kimia paling dominan yaitu Cerium.
 - b. Jenis ikatan N-H, C=C, C-N dan C-O yang terkandung pada serbuk elektrolit GDC₁₀ mengindikasikan adanya pengaruh jenis ikatan baik itu pada larutan atau kemurnian material dalam sintesis GDC₁₀.
 - c. Membentuk kristal kubik dengan parameter kisi sebesar 5,418 Å di setiap puncak yang terbentuk dengan memiliki jarak antar bidang rata-rata adalah 1,763 Å dan ukuran diameter kristal sekitar 25,089 nm.
 - d. Selain itu serbuk GDC₁₀ pada analisis termal menunjukkan bahwa terjadi kenaikan massa pada awal pemanasan karena adanya proses oksidasi lalu mengalami dekomposisi (pengurangan massa) di suhu lebih tinggi. Seiring terjadinya peningkatan suhu (*heatflow* meningkat) maka terjadi reaksi eksotermik pada serbuk yang mengindikasikan ada proses pengkristalan.
2. Proses sintering yang optimal adalah dengan *holding time* selama 5 jam untuk menghasilkan elektrolit GDC yang memiliki porositas < 1,1% dan densitas di atas standar yang disyaratkan (95%) dengan nilai yaitu 99.7% dan 98.8%.
3. Pelapisan pasta katoda LSCF-GDC di elektrolit GDC₁₀ menggunakan metode pelapisan dasar dimana permukaan pelet elektrolit dilapisi pasta katoda menggunakan *doctor blade* yang dilakukan di atas alat *hot plate*.
4. Pembuatan *symmetric cells* GDC/LSCF-GDC berhasil dilakukan melalui tahapan yaitu pertama, mensintesis sel elektrolit GDC₁₀ dengan metode *sol-gel* menjadi serbuk lalu dicetak menjadi pelet GDC₁₀. Kedua, membuat pasta katoda LSCF-GDC. Ketiga, pelapisan pasta katoda di pelet GDC₁₀ di atas hot plate setelah itu disintering.

5.2 Saran

1. Dalam proses sintering rawan terjadi keretakan atau pecah pada pelet elektrolit GDC_{10} yang dikarenakan adanya kontaminasi dengan unsur kimia yang tidak diinginkan oleh karena itu, hendaknya dalam proses sintering diperlukan sikap kehati-hatian.
2. Dengan metode pelapisan dasar yang digunakan menghasilkan lapisan pasta katoda LSCF-GDC yang kurang rata. Disarankan untuk pelapisan pasta katoda LSCF-GDC menggunakan metode pelapisan yang lebih baik misalnya *screen printing* atau *tape casting*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Mikrajuddin., Iis Nurhasanah, Ida Sriyanti, Ahmad Rifqy Marully, "Nanopartikel Ceria yang Didop Neodinium untuk Aplikasi Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)", *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, Vol.2, No.1, 2009
- Accardo, G., Spiridigliozzi, L., Cioffi, R., Ferone, C., Di Bartolomeo, E., Sung Pil Yoon, G. Dell'Agli, "Electrical and Microstructural Characterization of Ceramic Gadolinium-doped Ceria Electrolytes for ITSOFCs by Sol-gel Route", *J Appl Biomater Funct Mater*, 14(1): e35-e41, 2016
- Ai Zhu, Liu., Wang, J.X., He, C.R., Miao, He., Zhang, Yi., Wang, W.G., "Synthesis and Characterization of $Gd_{0.1}Ce_{0.9}O_{1.95}$ Nanopowder Via An Acetic-acrylic Method", *Ceramic International*, 39 6229-6235, 2013
- Anindya, R. Setya, " Sintesis dan Karakterisasi Komposit Elektrolit La, Sc, Yb Co-Doped Gadolinium Doped Cerium (GDC)", Skripsi, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, 2016
- Anjaneya, K.C., Singh, M.P., "Synthesis and Properties of Gadolinium Doped Ceria Electrolyte for IT-SOFCs by EDTA-Citrate Complexing Method", *Journal of Alloys and Compounds*, 2016
- ASTM C373-88, "Standard Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products", ASTM International, West Conshohocken, PA, 2006
- Aydin, Fatma., Ibrahim, Demir., Mahmut D.M., " Effect of Grinding Time of Synthesized Gadolinium Doped Ceria (GDC10) Powders on The Performance of Solid Oxide Fuel Cell", *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 17 25-29, 2014
- Bove, R., Ubertini, S., "Modeling Solid Oxide Fuel Cells", Springer, USA, 2008
- Brett, D.J.L., Atkinson, A., Brandon, NP., Skinner, SJ., "Intermediet Temperature Solid Oxide Fuel Cells", *Chemical Society Reviews*, Vol. 37, p. 1568-1578, 2008

- Cahyana, A., A. Marzuki, C. Cari, "Analisa SEM (Scanning Electron Microscope) Pada Kaca Tzn yang Dikristalkan Sebagian", Prosiding Mathematics and Science Forum, 2014
- Chen, Zhangwei., Xin, Wang., Finn, Giuliani., Alan, Atkinson., "Surface Quality Improvement of Porous Thin Films Suitable for Nanoindentation", Ceramic International, p. 3910 – 3923, 2014
- Cheng, Zhe., Jeng-Han, Wang., Meilin, Liu., "Anodes", Fergus J.W., Hui, Rob., Li, Xianguo., Wilkinson D.P., Zhang, J (Eds), "Green Chemistry and Chemical Engineering Solid Oxide Fuel Cell Materials Properties and Performance", CRC Press, USA, 2009
- Chun, Xia., Yi, Li., Ye, Tian., Qinghua, Liu., Zhiming, Wang., Lijun, Jia., Yicheng, Zhao., Yongdan, Li., "Intermediate Temperature Fuel Cell with A Doped Ceria-carbonate Composite Electrolyte", Journal of Power Sources, Vol.195, Issue 10, p. 3149-3154, 2010
- Dasari, Hari Prasad., Son, Ji-Won., Kim, Byung-Kook., Lee, Hae Weon., Lee, Jong-Ho., "Correlation between The Powder Properties and Sintering Behaviors of Nano-crystalline Gadolinium-doped Ceria", Journal of Ceramic Processing Research, Vol. 11, No. 5, pp. 523~526, 2010
- Dikmen, Sibel., Hasan, Aslanbay., Erdal, Dikmen., Osman, Sahin., "Hydrothermal Preparation and Electrochemical Properties of Gd^{3+} and Bi^{3+} , Sm^{3+} , La^{3+} , and Nd^{3+} Codoped ceria-based Electrolytes for Intermediate Temperature-solid oxide fuel cell", Journal of Power Sources, Vol. 195, Issue 9, p. 2488–2495, 2010
- Fu, Yeqing., "Theoretical and Experimental Study of Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) Using Impedance Spectra", Thesis, tidak diterbitkan, Massachusetts Institute of Technology, 2014
- Fuentes, R.O., Baker, R.T., "Structural, Morphological and Electrical Properties of $Gd_{0.1}Ce_{0.9}O_{1.95}$ Prepared by A Citrate Complexation Method", Journal of Power Sources Vol.186, p. 268–277, 2009

- Fuentes, R.O., Baker, R.T., "Synthesis and Properties of Gadolinium-doped Ceria Solid Solutions for IT-SOFC Electrolytes", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 33, p. 3480-3484, 2008
- German, Randall M., "Powder Metallurgy Science." *Metal Powder Industries Federation*, New Jersey, 1994
- Gwon Deak. Han, Neoh, Ke Chean., Bae, Kiho., Choi, Hyung Jong., Park, Suk Won., Son, Ji-Won., Shim, Joon Hyung., "Fabrication of Lanthanum Strontium Cobalt Ferrite (LSCF) Cathodes for High Performance Solid Oxide Fuel Cells Using A Low Price Commercial Inkjet Printer", *Journal of Power Sources*, Vol. 306, p. 503-509, 2016
- Hae Jin, Hwang., Moon, Ji-Woong., Lee, Seunghun., Lee, Eun A., "Electrochemical Performance of LSCF-based Composite Cathodes for Intermediet Temperature SOFCs", *Journal of Power Sources*, Vol. 145, p. 243-248, 2005
- Hammer, Angela., "Thermal Analysis of Polymer: Selected Application", *Mettler Toled*, 2010
- Hanke, L.D., "Handbook of Analytical Methods for Materials", *Material Evaluation and Engineering Inc*, Plymouth, 2001
- Hasan, Achmad., "Aplikasi Sistem Fuel Cell Sebagai Energi Ramah Lingkungan di Sektor Transportasi dan Pembangkit", *Jurusan Teknologi Lingkungan*, Vol.3 No.3 Hal. 277-286, 2007
- Haxel, G.B., Hedrick, J.B., & Orris G.J., "Rare Earth Elements—Critical Resources for High Technology", *USGS Fact Sheet 087-02*, 2002
- Ismunandar, "Padatan Oksida Logam: Struktur Sintesis dan Sifat-sifatnya", *Institut Teknologi Bandung*, Bandung, 2006
- Jacobson, Allan. J., "Materials for Solid Oxide Fuel Cells", *Chemistry of Materials Review*, Vol.22, p. 660-674, 2010
- Jiang, S.P., Li, Jian., "Cathodes", Fergus J.W., Hui, Rob., Li, Xianguo., Wilkinson D.P., Zhang, J. (Eds), "Green Chemistry and Chemical Engineering Solid Oxide Fuel Cell Materials Properties and Performance", *CRC Press*, USA, 2009

- Kuphaldt, Tony R., "Lessons In Industrial Instrumentation", Creative Commons Attribution, USA, 2010
- Lei, Gao., Mengzhao, Zhu., Qiang, Li., Liping, Sun., Hui, Zhao., Jean-Claude, Grenier., "Electrode Properties of Cu-doped $\text{Bi}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{FeO}_{3-\delta}$ Cobalt-Free Perovskite as Cathode for Intermediate-Temperature Solid Oxide Fuel Cells", *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 700, p. 29-36, 2017
- Leng, Yongjun., Chan, S.H., Liu, Q., "Development of LSCF-GDC Composite Cathodes for Low-temperature Solid Oxide Fuel Cells with Thin Film GDC Electrolyte", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 33, p. 3808-3817, 2008
- Mah, J.C.W., Muchtar, A., Somalu, M.R., Ghazali, M.J., Raharjo, J., "Formation of Sol-Gel Derived $(\text{Cu,Mn,Co})_3\text{O}_4$ Spinel and Its Electrical Properties", *Ceramics International*, 2017
- Mawardani, Putri., "Pengaruh Kemurnian Bahan Baku Terhadap Temperatur Sintering dan Karakteristik Keramik Alumina", Skripsi, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, 2014
- Nanjwade, Basavaraj K., "Thermal Analysis",
<http://slideplayer.com/slide/5844714/>, diakses tanggal 05 Juli 2017
- Nugraha, F.E., "Optimasi Pemecahan Emulsi Air dalam Pelumas Bekas Menggunakan Campuran Larutan NaCl-Etanol", Skripsi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2008
- Omar, S., Wachsman, E., Nino, J., "Higher Conductivity Sm^{3+} and Nd^{3+} Co-doped ceria-based Electrolyte Materials", *Solid State Ionics*, Vol. 178, Issue 37-38, p. 1890–1897, 2008
- Pavia, D. L., Lampman, Gary M., Kriz, George S., Vyvyan, James R., "Introduction to Spectroscopy, Fourth Edition", Brooks/Cole, USA, 2009
- Peterson, David., Winnick, Jack., "A High Temperature $\text{H}_2\text{S}/\text{Air}$ Fuel Cell Utilizing Ceria-Based Solid Electrolytes", Srinivasan, S., Macdonald, D.D., Khandkar, A.C. (Eds), "Proceedings of the Symposium on Electrode Materials and Processes for Energy Conversion and Storage", The

Electrochemical Society, 1994

- Qulub, Munawirul., "Scanning Electron Microscope & Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM-EDS), <https://munawirul-q.blogspot.co.id/2011/03/scanning-electron-microscope-energy.html>., diakses tanggal 13 Juli 2017
- Raharjo, Jarot., Dedikarni., & W.R.W. Daud, "Perkembangan Teknologi Material Pada Sel Bahan Bakar Padat Suhu Operasi Menengah", *Jurnal Sains Materi Indonesia*, Vol. 10, Issue 1, p. 28-34, 2007
- Rais, Muhammad., "Studi Analisa Simulasi Tentang Korelasi Suhu Sintering dan Presentase Aditif Mulit Dengan Sifat Mekanik Alumina", Skripsi, Universitas Sumatera Utara, 2007
- Ruiz-Morales, Juan C., Marrero-Lopez, David., Canales-Vazquez, Jesus., Irvine, John T.S., "Symmetric and Reversible Solid Oxide Fuel Cells", *RSC Advances*, 2011
- Sammes, N.M., Bove, R., Pusz, J., "Solid Oxide Fuel Cell", Sammes, N.M. (Ed), "Fuel Cell Technology Reaching Towards Commercialization", Springer, London, 2006
- Shao, Zongping., Zhou, W., Zhu, Z., "Advance Synthesis of Material for Intermediate-temperature Solid Oxide Fuel Cells", *Progress in Materials Science*, Vol. 57, p. 804-874, 2012
- Shaorong, Wang., Takeshi, Kobayashi., Masayuki, Dokiya., Takuya, Hashimoto., "Electrical and Ionic Conductivity of Gd-doped Ceria", *The Electrochemical Society*, Vol. 147, issue 10, p. 3606-3609, 2000
- Smith, J.M., H.C. Van Ness., M.M Abbott., "Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, 6th ed", McGraw-Hill, Singapore, 2011
- Sorrell, C.C., J. Nowotny., S. Sugihara., "Materials for Energy Conversion Devices", Woodhead Publishing, USA, 2005
- Spotorno, R., P. Piccardo., G. Schiller., "Effect of Cathode Contacting on Anode Supported Cell Performances and Degradation", *ECS Transaction*, p. 2429-2439, 2015

- Sriyanti I., Abdullah M., "Sintesis Nanopartikel Nd-CeO₂ Menggunakan Metode Simple Heating Untuk Aplikasi Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)", *Jurnal Natur Indonesia*, Vol. 12 (1), p. 1-8, 2009
- Su, Chao., Wang, Wei., Liu, Meilin., Tade, Moses O., Shao, Zongping., "Progress and Prospects in Symmetrical Solid Oxide Fuel Cells with Two Identical Electrodes", *Advanced Energy Material*, 2015
- Subekti, Daniel., "Analisa Sifat Fisik, Sifat Mekanik, Struktur Produk Proses Indirect Pressureless Sintering Berbahan Serbuk Ni dan Sifat Termal Berbahan Serbuk Cu dengan Supporting Powder Besi Cor", Skripsi, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang, 2011
- Sudarningsih, Fahrudin, "Penggunaan Metode Difraksi Sinar-X dalam Menganalisa Kandungan Mineral pada Batuan Ultra Basa Kalimantan Selatan", *Jurnal Fisika*, 5 (2) : 165-173
- Suhada, Hendrata., "Fuel Cell Sebagai Penghasil Energi Abad 21", *Jurnal Teknik Mesin*, Vol.3, No.2, p. 92-100, Oktober 2001
- Tahid, "Spektroskopi Inframerah Transform Fourier No.II Th VIII", *Warta Kimia Amalitis*, Bandung, 1994
- Winter, M., Brodd, R.J., "What Are Batteries, Fuel Cells, and Supercapacitors?", *Chemical Reviews*, Vol. 104, Issue 10, p. 4245-4270, 2004
- Xiuan Xi., Akira, Kondo., Takahiro, Kozawa., Makio, Naito., "LSCF-GDC Composite Particles for Solid Oxide Fuel Cells Cathodes Prepared by Facile Mechanical Method", *Advance Powder Technology*, 2016
- Zarkov, A., Stanulis, A., Salkus, T., Kezionis, A., Jasulaitiene, V., Ramanauskas, R., Tautkus, S., Kareiva, A., "Synthesis of Nanocrystalline Gadolinium Doped Ceria via Sol-Gel Combustion And Sol-Gel Synthesis Routes", *Ceramics International*, 2016
- Zhang, T.S., Ma, J., Kong, L.B., Chan, S.H., Hing, P., Kilner, J.A., "Iron Oxide as An Effective Sintering Aid and A Grain Boundary Scavenger for Ceria-based Electrolytes", *Solid State Ionics*, 167 (1-2), 203-207, 2004
- Zhu, B., "Next Generation Fuel Cell R&D", *International Journal of Energy Research*, Vol. 30, p. 895-903, 2006.