No. Dok. 5079
Copy : 1

D
662.6
Cah
S

LAPORAN TUGAS AKHIR PENELITIAN
SINTESIS ELEKTROLIT GADOLINIUM *DOPED CERIUM* DENGAN METODE *SOLID STATE* UNTUK APLIKASI *INTERMEDIATE TEMPERATURE SOLID OXIDE FUEL CELL* DI PUSAT TEKNOLOGI MATERIAL-BPPT

(1 MARET 2017 – 30 April 2017)

OLEH:

LESTARI CAHYATI	**1513006**
MAISA ULFAH	**1513018**

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER
POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN
2017

DATA BUKU PERPUSTAKAAN
Tgl. terima 07/02/2019
No. Induk Buku 34/TKP/SBI/19

POLITEKNIK STMI JAKARTA

KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I

LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG

JUDUL PENELITIAN

SINTESIS ELEKTROLIT GADOLINIUM *DOPED CERIUM* DENGAN METODE *SOLID STATE* UNTUK APLIKASI *INTERMEDIATE TEMPERATURE SOLID OXIDE FUEL CELL.*

DISUSUN OLEH:

NAMA : MAISA ULFAH

NIM : 1513018

PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Telah diuji oleh Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Program Studi Teknik Kimia Polimer pada Politeknik STMI Jakarta pada hari Kamis, 16 November 2017.

Jakarta, November 2017

Penguji I	Penguji II
Ir. Parulian Leonard M, MM.	**Ir. Rochmi Widjajanti, M.Eng**
NIP. 195702141985031002	NIP. 195609101984032002

Penguji III	Pembimbing
Dr. Erfina Oktariani, ST. MT	**Sakri Widhianto, S.Teks, MM**
NIP. 198210012014022001	NIP. 195303171978031001

POLITEKNIK STMI JAKARTA

KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I

LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG

JUDUL PENELITIAN

SINTESIS ELEKTROLIT GADOLINIUM *DOPED CERIUM* DENGAN METODE *SOLID STATE* UNTUK APLIKASI *INTERMEDIATE TEMPERATURE SOLID OXIDE FUEL CELL.*

DISUSUN OLEH:

NAMA : LESTARI CAHYATI
MAISA ULFAH

NIM : 1513006
1513018

PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Telah diuji oleh Tim Penguji Seminar Tugas Akhir Penelitian Program Studi Teknik Kimia Polimer pada Politeknik STMI Jakarta pada hari Senin, 21 Agustus 2017.

Jakarta, Agustus 2017

Penguji,

Ir. Roosmariharso, MBA.
NIP. 195405231980031004

Penguji,

Ir. Parulian Leonard M, MM.
NIP. 195702141985031002

Pembimbing,

Sakri Widhianto, S.Teks, MM
NIP. 195303171978031001

POLITEKNIK STMI JAKARTA

KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

JUDUL PENELITIAN :

SINTESIS ELEKTROLIT GADOLINIUM *DOPED CERIUM* DENGAN METODE *SOLID STATE* UNTUK APLIKASI *INTERMEDIATE TEMPERATURE SOLID OXIDE FUEL CELL.*

DISUSUN OLEH :

NAMA	: LESTARI CAHYATI
	MAISA ULFAH
NIM	: 1513006
	1513018
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

Menyetujui,

Ketua Program Studi
Teknik Kimia Polimer

Ir. Roosmariharso, MBA.
NIP. 19540523198003100 4

Dosen Pembimbing

Sakri Wilhianto, S.Teks, MM.
NIP. 19580317197803100 1

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING PENELITIAN

JUDUL PENELITIAN :

SINTESIS ELEKTROLIT GADOLINIUM *DOPED CERIUM* DENGAN METODE *SOLID STATE* UNTUK APLIKASI *INTERMEDIATE TEMPERATURE SOLID OXIDE FUEL CELL.*

DISUSUN OLEH :

NAMA	: LESTARI CAHYATI
	MAISA ULFAH
NIM	: 1513006
	1513018
PROGRAM STUDI	: TEKNIK KIMIA POLIMER

Jakarta, Agustus 2017

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing

Dr. Ir. Jarot Raharjo, M.Sc

NIP. 197103151996031003

LEMBAR BIMBINGAN PENYUSUNAN TUGAS AKHIR PENELITIAN

Nama : Lestari Cahyati 1513006

Maisa Ulfah 1513018

Judul TA Penelitian : *Sintesis Elektrolit Gadolinium Doped Cerium* dengan Metode *Solid State* Untuk Aplikasi *Intermediate Temperature Solid Oxide Fuel Cell.*

Pembimbing : Sakri Widhianto, S.Teks, MM.

Tanggal	BAB	Keterangan	Paraf
21/04/2017	BAB 1	melengkapi materi dalam latar belakang.	
28/04/2017	BAB 1	Penulisan rumusan masalah, tujuan, dan manfaat penelitian.	
5/05/2017	BAB 2	Semua yang ada dalam judul dijelaskan dalam tinjauan pustaka.	
12/05/2017	BAB 3	Diagram alir dibuat dalam satu halaman.	
16/06/2017	BAB 4	Tulis standar yg digunakan pada alat uji.	
07/07/2017	BAB 4	Hasil penelitian dibuat menjadi 3 sub bab, yaitu pembuatan powder, pellet, dan hasil yang diperoleh.	
10/07/2017	BAB 4	Lengkapi TGA pada saat penurunan massa.	
21/07/2017	BAB 4	Pada pengujian XRD, perbedaan ukuran kristal dijelaskan	
31/07/2017	BAB 5	Penulisan kalimat dalam kesimpulan lebih dipersjelas sesuai dengan tujuan penelitian pada bab 1	
09/08/2017	Abstrak	Disesuaikan dengan kesimpulan pada Bab 5	

Mengetahui,

Ketua Program Studi
Teknik Kimia Polimer

Ir. Roosmariharso, MBA
NIP. 195405231980031004

Dosen Pembimbing

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

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

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

Nama	: Lestari Cahyati
NIM	: 1513006
Program Studi	: Teknik Kimia Polimer

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

SINTESIS ELEKTROLIT GADOLINIUM *DOPED CERIUM* DENGAN METODE *SOLID STATE* UNTUK APLIKASI *INTERMEDIATE TEMPERATURE SOLID OXIDE FUEL CELL.*

- 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, Agustus 2017

Yang Membuat Pernyataan

Lestari Cahyati

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

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

Nama	: Maisa Ulfah
NIM	: 1513018
Program Studi	: Teknik Kimia Polimer

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

SINTESIS ELEKTROLIT GADOLINIUM *DOPED CERIUM* DENGAN METODE *SOLID STATE* UNTUK APLIKASI *INTERMEDIATE TEMPERATURE SOLID OXIDE FUEL CELL*.

- 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, Agustus 2017

Yang Membuat Pernyataan

Maisa Ulfah

KATA PENGANTAR

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

1. Orang tua penulis yang telah memberikan dukungan secara moril dan materil.
2. Dr. Mustofa, S.T, MT, selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta.
3. Ir. Roosmariharso, MBA, selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta.
4. Sakri Widhianto, S.Teks, MM, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan kami dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.
5. Dr. Ir. Jarot Raharjo, M.Sc, selaku pembimbing lapangan penelitian di PTM-BPPT yang telah memberikan ilmu, arahan dan masukan dalam melaksanakan penelitian.
6. Mba Ami, Mba Idham, Mas Lukmana dan para pegawai di PTM-BPPT yang telah banyak membantu penulis selama masa penelitian.

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

Jakarta, Agustus 2017

Penulis

ABSTRAK

Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) merupakan salah satu sel bahan bakar yang menggunakan 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 dikembangan material SOFC yang dapat beroperasi pada suhu menengah (600°C-800°C) dengan performa yang baik. GDC merupakan salah satu elektrolit yang berpotensi sebagai SOFC pada suhu operasi menengah dan dianggap menjadi salah satu elektrolit padat berbasis *cerium* yang paling baik. Tujuan penelitian ini adalah membuat elektrolit GDC dengan memvariasikan penggunaan CeO_2 komersial dan CeO_2 lokal, menguji karakteristik *powder* dan *pellet* elektrolit GDC, dan mengetahui apakah elektrolit GDC yang dihasilkan dapat digunakan sebagai SOFC. *Powder* elektrolit GDC dibuat menggunakan metode *solid state,* lalu diuji karakteristik dengan menggunakan FTIR, TGA, dan XRD. Kemudian dicetak menjadi *pellet*, disintering selama 2 jam, dan diuji densitas. Hasil uji FTIR menunjukkan dari enam titik puncak, GDC Lokal dan GDC Komersial mengandung jenis ikatan C-O, C-O, dan C-H. Hasil uji TGA GDC Lokal menunjukkan terjadinya dekomposisi pada suhu diatas 350 °C, sedangkan pada GDC Komersial terjadi dekomposisi pada suhu diatas 100 °C. Hasil uji XRD menunjukkan bahwa ukuran kristal GDC Lokal yaitu sebesar 45.024 nm lebih besar daripada GDC Komersial yaitu 29.740 nm. Hasil pengujian densitas *pellet* GDC menunjukkan bahwa GDC Komersial yaitu sebesar 99.9499 %, sedangkan GDC Lokal sebesar 91.73 %. Berdasarkan hasil karakterisasi elektrolit GDC Lokal dan GDC Komersial, baik dalam bentuk *powder* maupun *pellet*, dapat disimpulkan bahwa GDC Komersial telah memenuhi syarat elektrolit yang baik untuk aplikasi SOFC pada suhu menengah.

Kata kunci: *Fuel cell,* SOFC, GDC Komersial dan GDC Lokal, Elektrolit, FTIR, TGA, XRD, dan 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 TA PENELITIAN

HALAMAN SURAT KETERANGAN DITERIMA PENELITIAN

HALAMAN SURAT KETERANGAN SELESAI TA PENELITIAN

KATA PENGANTAR i

ABSTRAK ii

DAFTAR ISI iii

DAFTAR TABEL vi

DAFTAR GAMBAR vii

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 3

1.3 Batasan Masalah 4

1.4 Tujuan Penelitian 4

1.5 Manfaat Penelitian 4

1.6 Sistematika Penulisan 5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7

2.1 *Fuel Cell* 7

2.1.1 Jenis-Jenis *Fuel Cell* 9

2.2 *Solid Oxide Fuel Cell* (SOFC) 12
2.2.1 *Intermediate Temperature Solid Oxide Fuel Cell* 14
2.3 Komponen-Komponen Utama SOFC 15
2.3.1 Anoda 15
2.3.2 Katoda 15
2.3.3 Elektrolit 16
2.4 Logam Tanah Jarang *(Rare Earth Elements)* 17
2.4.1 Pengertian *Rare Earth Elements* 17
2.4.2 Gadolinium 18
2.4.2.1 Sifat Fisika dan Sifat Kimia Gadolinium 18
2.4.2.2 Aplikasi Gadolinium 19
2.4.3 *Cerium* 19
2.4.3.1 Sifat Fisika dan Sifat Kimia *Cerium* 20
2.4.3.2 Kegunaan *Cerium* 21
2.5 Doping 21
2.6 Metode *Solid State* 22
2.7 *Ball Mill* 23
2.8 Kalsinasi 24
2.9 Sintering 25
2.10 Karakterisasi Gadolinium *Doped Cerium* (GDC) 27
2.10.1 *Thermal Gravimetric Analysis* (TGA) 27
2.10.2 *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) 29
2.10.3 *X-Ray Diffraction* (XRD) 32
2.10.4 Densitas 34

BAB III METODOLOGI PENELITIAN 35
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian 35
3.2 Alat dan Bahan 35
3.3 Variabel 36
3.4 Prosedur Penelitian 38
3.5 Prosedur Pengujian GDC Komersial dan GDC Lokal 41

3.5.1 Prosedur Pengujian *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)... 41
3.5.2 Prosedur Pengujian *Thermal Gravimetry Analysis* (TGA).. 41
3.5.3 Prosedur Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD)..... 43
3.5.4 Prosedur Pengujian Densitas..... 44

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... 45
4.1 Hasil Penelitian..... 45
4.1.1 *Powder* GDC..... 45
4.1.2 *Pellet* GDC..... 46
4.1.3 Hasil yang Diperoleh..... 46
4.2 Pembahasan..... 47
4.2.1 Hasil dan Analisa Uji FTIR..... 47
4.2.2 Hasil dan Analisa Uji TGA..... 49
4.2.3 Hasil dan Analisa Uji XRD..... 52
4.2.4 Hasil dan Analisa Uji Densitas..... 54
4.2.5 Syarat Elektrolit Berdasarkan Hasil Pengujian..... 56

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... 57
5.1 Kesimpulan..... 57
5.2 Saran..... 59

DAFTAR PUSTAKA..... 60

LAMPIRAN A ALAT DAN BAHAN
LAMPIRAN B HASIL PENGAMATAN
LAMPIRAN C PENGOLAHAN DATA

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi *Fuel Cell* Berdasarkan Bahan Bakar, Elektrolit, Temperatur Operasi, Karakteristik, dan Penggunaannya 11
Tabel 2.2 Unsur-Unsur REE 18
Tabel 2.3 Ikatan Kimia Dalam Hasil Uji FTIR 30
Tabel 4.1 Parameter Kisi dan Ukuran Kristal Hasil Uji XRD 53
Tabel 4.2 Hasil Uji Densitas *Pellet* GDC 54
Tabel 4.3 Syarat Elektrolit 56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema *Fuel Cell* 7
Gambar 2.2 *Solid Oxide Fuel Fuel Cell* (SOFC) 11
Gambar 2.3 Penampang *Solid* 11
Gambar 2.4 Reaksi *Solid Oxide Fuel Cell* 13
Gambar 2.5 *Planetary Ball Mill* 24
Gambar 2.6 Material dan Bola Penghancur di dalam Vial 24
Gambar 2.7 Permodelan Partikel 26
Gambar 2.8 Skema Kerja TGA 28
Gambar 2.9 Skema Kerja FTIR 31
Gambar 2.10 Difraksi Sinar-X Oleh Atom-Atom Pada Bidang 33
Gambar 3.1 Diagram Alir Pembuatan *Powder* GDC 38
Gambar 3.2 Diagram Alir Pembuatan *Pellet* GDC 39
Gambar 4.1 *Powder* GDC Komersial 800°C dan GDC Lokal 800°C 45
Gambar 4.2 *Pellet* GDC Komersial 800°C dan GDC Lokal 800°C 46
Gambar 4.3 Hasil Uji FTIR GDC Lokal Setelah Kalsinasi Pada Suhu 800°C 47
Gambar 4.4 Hasil Uji FTIR GDC Komersial Setelah Kalsinasi Pada Suhu 800°C 48
Gambar 4.5 Hasil Uji TGA GDC Lokal Setelah Kalsinasi Pada Suhu 800°C 49
Gambar 4.6 Perubahan Massa GDC Lokal Setelah Kalsinasi Pada Suhu 800°C 50
Gambar 4.7 Hasil Uji TGA GDC Komersial Setelah Kalsinasi Pada Suhu 800°C 50
Gambar 4.8 Perubahan Massa GDC Komersial Setelah Kalsinasi Pada Suhu 800°C 51
Gambar 4.9 Hasil Uji XRD GDC Komersial dan GDC Lokal Setelah Kalsinasi Pada Suhu 800°C 52

MILIK PERPUSTAKAAN STMI
Membaca : Ibadah, Mengambil : Dosa

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kebutuhan energi di dunia mengalami peningkatan seiring berkembangnya industri dan peningkatan jumlah populasi manusia setiap tahunnya, namun hal tersebut tidak sebanding dengan ketersediaan bahan bakar minyak bumi saat ini. Di ASEAN sendiri permintaan energi primer tumbuh rata-rata 7,5% setiap tahunnya hingga mencapai 620,37 juta ton pada tahun 2011 (ASEAN *Energy Review and Statistics*, 2013), sedangkan diperkirakan hingga tahun 2035 pertumbuhan kebutuhan energi primer akan lebih lambat pada kisaran 3-45 % pertahunnya.

Hidrokarbon, terutama bahan bakar minyak bumi, merupakan kebutuhan vital dalam industri transportasi. Biasanya hidrokarbon ini bersumber dari bahan bakar fosil. Tetapi, penggunaan bahan bakar fosil secara terus-menerus untuk memperoleh hidrokarbon dan sumber energi menyebabkan permasalahan pemanasan global dan meningkatnya konsentrasi CO_2 di dalam udara (Jacobson., 2013). Oleh sebab itu, perlu dilakukan upaya untuk menghasilkan sumber energi alternatif yang baru dan ramah lingkungan untuk memenuhi kebutuhan energi primer.

Fuel cell merupakan salah satu energi alternatif baru dan ramah lingkungan. *Fuel cell* adalah perangkat elektrokimia yang mengubah energi kimia dalam suatu bahan bakar (seperti hidrogen, gas alam atau bahan bakar berbasis hidrokarbon lainnya) menjadi energi listrik secara langsung. Semua sel bahan bakar terdiri dari lapisan elektrolit dalam kontak dengan anoda dan katoda di kedua sisi. Reaksi oksidasi terjadi di sisi anoda dari sel bahan bakar, sementara pengurangan berlangsung di katoda. Perangkat ini menghasilkan energi listrik dengan hasil samping yang tidak berbahaya bagi lingkungan. Sumber energi yang berupa ion hidrogen dari air membuat hasil reduksinya hanya berupa air, energi listrik dan panas yang tidak akan merusak lingkungan (Sammes., 2006).

Fuel cell dapat diklasifikasikan berdasarkan bahan bakar yang digunakan yaitu, *Alkaline Fuel Cell* (AFC), *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC), *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC), *Molten Carbonate Fuel Cell* (MCFC), *Phosphoric Acid Fuel Cell* (PAFC), dan *Solid Oxide Fuel Cell* (SOFC) (De Guire, *et al.*, 2002). *Solid Oxide Fuel Cell* (SOFC) merupakan sistem yang menjanjikan sebagai pembangkit listrik karena efisiensi pengkonversian energi kimia menjadi energi listrik yang tinggi. SOFC menggunakan keramik padat sebagai elektrolit. Elektrolit ini umumnya berupa *Yttria Stabilized Zirconia* yang bekerja pada suhu mulai dari 800-1000°C.

SOFC beroperasi pada temperatur tinggi dan menyebabkan ketidakstabilan pada sistem jika digunakan untuk jangka panjang, biaya manufaktur yang tinggi dan kesulitan pada pemilihan material yang tepat. Baru-baru ini, telah dilakukan penelitian lebih lanjut tentang SOFC yang bekerja pada temperatur sedang (600-800°C) (Zhu., 2006). Penurunan temperatur operasional pada SOFC menarik perhatian peneliti karena memberikan beberapa keuntungan seperti dapat menggunakan material dengan harga tidak terlalu mahal namun memiliki performa yang baik, stabilitas elektrolit yang tinggi dan proses *start-up* yang cepat (Xia, *et al.*, 2010). Penerapan SOFC sebagai pembangkit lisrik sudah diterapkan secara Komersial pada *bloom energy power plant* yang berada di Delaware, Amerika Serikat. Daya yang dihasilkan mencapai 3 MW (http://fche.org).

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *solid state* menggunakan alat *ball mill*. Pemilihan metode ini dikarenakan dapat digunakan untuk mengubah ukuran partikel material menjadi lebih kecil. Proses pengecilan ukuran partikel menggunakan *ball mill* ini dinamakan sebagai *mechanical milling* (Chung, *et al.*, 2002). *Ball mill* dapat mengecilkan ukuran butir pada partikel sehingga material yang dihasilkan memiliki densitas yang tinggi (Payne, *et al.*, 2007). *Ball mill* sering digunakan karena prosesnya sederhana dan efektif untuk menghaluskan butiran sampai skala nanometer pada kebanyakan logam dan paduan logam (Xu, *et al.*, 2002).

Elektrolit berbasis *cerium* adalah bahan terbaik untuk elektrolit pada temperatur sedang (600-800 °C) (Fuentes & Baker., 2008). Ceria (CeO_2) yang

didoping dengan unsur logam tanah jarang sangat potensial untuk menghasilkan konduktivitas ionik yang lebih tinggi dibanding *Yttria Stabilized Zirconia* (YSZ) (Abdullah, *et al.*, 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 (Heath., 2014). Jika *ceria* didoping dengan oksida tanah jarang yang bervalensi dua atau tiga, maka kekosongan oksigen akan terbentuk didalam kisi sehingga meningkatkan konduktivitas ionik (Sriyanti, *et al.*, 2009). Doping yang paling sering digunakan adalah Gd^{3+}. Gadolinium *Doped Cerium* (GDC) merupakan salah satu elektrolit yang paling berpotensi untuk SOFC pada suhu operasi yang rendah (Aydin, *et al.*, 2014). Gadolinium *Doped Cerium* (GDC) dianggap menjadi salah satu elektrolit padat berbasis *cerium* yang paling baik (Wang, *et al.*, 2000). Berdasarkan teori tersebut, maka sintesis elektrolit GDC pada penelitian ini difokuskan dengan memvariasikan bahan lokal dan komersial. Suhu kalsinasi yang digunakan adalah suhu kalsinasi temperatur sedang yaitu 800 °C.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka rumusan permasalahan dari penelitian ini adalah :

1. Apakah elektrolit GDC berbahan baku CeO_2 Lokal (*Sigma Aldrich*) dan elektrolit GDC berbahan baku CeO_2 Komersial dapat tersintesis menjadi bentuk *powder* maupun *pellet*?
2. Bagaimanakah perbedaan karakter antara elektrolit GDC Lokal dan GDC Komersial?
3. Apakah elektrolit GDC yang dihasilkan dapat digunakan sebagai *Solid Oxide Fuel Cell*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Jenis logam tanah jarang yang digunakan adalah CeO_2 Komersial (*Sigma Aldrich*), CeO_2 Lokal, dan Gd_2O_3 Komersial (*Sigma Aldrich*).
2. Metode yang digunakan adalah metode *solid state* dengan menggunakan *ball mill.*
3. Suhu kalsinasi dibuat dengan suhu 800°C.
4. Dibuat sampel elektrolit GDC berbahan baku CeO_2 Lokal dan CeO_2 Komersial (*Sigma Aldrich*).
5. Karakterisasi elektrolit GDC dengan menggunakan instrumentasi FTIR, TGA, dan XRD.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menghasilkan elektrolit GDC Lokal dan GDC Komersial, baik dalam bentuk *powder* maupun *pellet.*
2. Mengetahui perbedaan karakter antara elektrolit GDC Lokal dan GDC Komersial.
3. Untuk mengetahui apakah elektrolit GDC yang dihasilkan dapat digunakan sebagai *Solid Oxide Fuel Cell.*

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dan manfaat kepada pihak terkait mengenai sintesis elektrolit GDC untuk penggunaan SOFC (*Solid Oxide Fuel Cell)* sebagai salah satu energi alternatif yang ramah lingkungan dan banyak digunakan sebagai perangkat *power plant.* Selain itu penggunaan CeO_2 lokal sebagai bahan baku pembuatan elektrolit GDC sangat menjanjikan untuk dikembangkan pada penelitian selanjutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Bagian ini merupakan gambaran secara keseluruhan. Didalamnya terdapat lima bab yang masing–masing berkaitan erat. Adapun susunan ke lima bab tersebut sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi penjelasan mengenai latar belakang diadakannya penelitian, rumusan masalah yang akan dibahas, batasan masalah dari penelitian yang akan dilakukan, tujuan dan manfaat dari dilakukannya penelitian ini, serta penjelasan mengenai sistematika penulisan laporan penelitian.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tinjauan umum mengenai *fuel cell*, jenis-jenis *fuel cell*, kelebihan dan kekurangan *fuel cell*, *Solid Oxide Fuel Cell* (SOFC), bahan bakar yang digunakan pada SOFC, Logam Tanah Jarang (*Rare Earth Elements* (REE)), serta hal–hal yang berhubungan dengan *Solid Oxide Fuel Cell* (SOFC).

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini berisi uraian tentang waktu dan tempat penelitian, persiapan penelitian, alat dan bahan yang digunakan, variabel penelitian, prosedur penelitian, dan diagram alir penelitian. Bagian akhir bab ini menjelaskan cara pengambilan atau pengujian yang dilakukan sampai dengan perolehan sampel data dan cara pengolahan analisis data.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi dua bagian. Bagian pertama memuat data hasil pengujian, pengolahan maupun analisis data yang dapat berbentuk tabel yang sudah diolah, grafik, persamaan atau model. Bagian kedua memuat pembahasan yaitu interpretasi atau penafsiran terhadap hasil pengujian atau analisis data yang didapatkan selama proses penelitian.

BAB V : PENUTUP

Bab ini berisi dua bagian, yaitu kesimpulan dan saran. Memberikan kesimpulan dari hasil penelitian berdasarkan hasil pembahasan, dan menyampaikan saran-saran yang diperlukan untuk perbaikan penelitian lanjutan.

MILIK PERPUSTAKAAN STMI
Membaca : Ibadah, Mengambil : Dosa

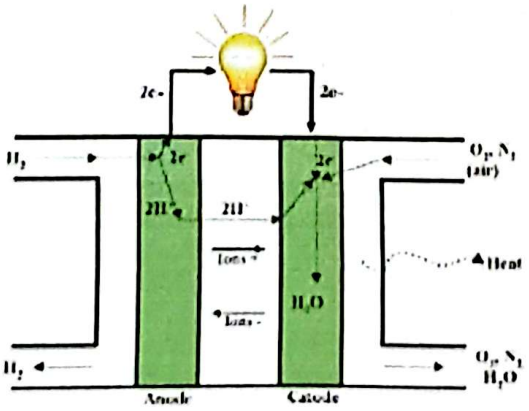
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Fuel Cell*

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 luar) yang dipompakan ke dalam sel (Winter, M. & Brodd, R.J., 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 listrik secara langsung tanpa melalui proses pembakaran. Pengubahan energi secara langsung tersebut yakni tanpa melalui proses pembakaran dapat meningkatkan efisiensi konversi dari sel (Brett, D.J.L., *et al,* 2008).

Fuel cell bekerja berdasarkan prinsip pembakaran listrik-kimiawi, sel ini akan memproduksi energi listrik arus searah. *Fuel cell* ini terdiri dari elektrolit yang memisahkan katoda dari anoda. Bahan bakar yang berupa hidrogen akan masuk secara terus menerus melalui anoda (elektroda negatif) dan oksidan yang berupa oksigen akan masuk secara terus menerus melalui katoda (elektroda positif). Reaksi elektrokimia terjadi di elektroda untuk memproduksi arus listrik melalui elektrolit (EG&G Technical Services, Inc., 2004).



Gambar 2.1 Skema *Fuel Cell.*
(Sumber: Teresa Outeiro & Carvatho, 2013)

Reaksi kimia pada *fuel cell.*

- $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$

Pada anoda hidrogen di oksidasi menjadi proton:

- $2H_2 \rightarrow 4H^+ + 4\ e^-$

Setiap molekul H_2 terpecah menjadi dua atom H^+ (proton), sedang setiap atom hidrogen melepaskan elektronnya. Proton ini akan bergerak menuju katoda melewati membran. Elektron yang terbentuk akan menghasilkan arus listrik kalau dihubungkan dengan penghantar listrik menuju katoda.

Pada katoda oksigen dirubah :

- $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$

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, Hendrata., 2001).

Daya secara tradisional bergantung pada bahan bakar fosil, yang memiliki beberapa keterbatasan, yaitu :

- Menghasilkan polutan dalam jumlah yang besar
- Cadangan bahan terbatas

Fuel cell bisa digunakan sebagai sumber energi bagi berbagai keperluan seperti peralatan yang bergerak (transportasi) dan pembangkit tetap (stasioner). Pasar masa depan *fuel cell* mencakup untuk transportasi dan sektor stasioner.

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. Namun *fuel cell* memiliki beberapa kekurangan yaitu ketiadaan infrastruktur, merupakan teknologi tinggi dan baru sehingga biayanya mahal (Hasan, Achmad.,2007).

2.1.2 Jenis-Jenis *Fuel Cell*

Jenis dari pada *fuel cell* ditentukan oleh material yang digunakan sebagai elektrolit yang mampu menghantar proton. Pada saat ini ada enam jenis *fuel cell* (Suhada, Hendrata., 2001), yaitu :

1) ***Alkaline Fuel Cells* (AFC)**

Alkaline Fuel Cells (AFC) secara umum menggunakan kalium hidroksida sebagai elektrolitnya, dapat menghasilkan efisiensi sampai 70%, serta memiliki suhu operasi 150-260 °C. Daya yang dihasilkan oleh sel bahan bakar alkali berkisar antara 300 W sampai 5 KW. Banyak digunakan oleh NASA untuk misi ulang-alik angkasa luar. Sel bahan bakar alkali pertama kali digunakan pada pesawat luar angkasa Gemini-Apollo untuk suplai listrik. Biayanya sangat mahal, sehingga tidak dipakai untuk komersial.

2) ***Proton Exchange Membrane Fuel Cells* (PEMFC)**

Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFC) memiliki membran yang terbuat dari plastik tipis yang pada kedua sisinya dilapisi dengan platina. Jenis ini sangat sesuai untuk kendaraan, karena mampu beroperasi pada temperatur yang rendah. PEMFC memiliki kepadatan energi yang tinggi *(high energy density)*. PEMFC memiliki sebuah lapisan membran *solid* polimer sebagai elektrolitnya.

PEMFC adalah sel bahan bakar yang paling banyak dikembangkan penggunaanya untuk transportasi. PEMFC bekerja pada daya 1 kW per liter volumetrik dan menghasilkan tenaga listrik pada temperatur operasi kerja 60-100°C. PEMFC bereaksi dengan cepat dalam perubahan kebutuhan energi listrik (mampu menyuplai beban mendadak) dan tidak mudah bocor dan mengakibatkan korosi.

3) ***Direct Methanol Fuel Cells* (DMFC)**

Direct Methanol Fuel Cells (DMFC) mirip dengan *Proton Exchange Electrolyte Fuel Cells* (PEMFC), yaitu sama-sama menggunakan plastik polimer sebagai membran. DMFC menggunakan metanol untuk menggantikan hidrogen.

Pada DMFC hidrogen diambil secara langsung oleh katalisator anoda dari metanol cair, sehingga tidak diperlukan sebuah *reformer* bahan bakar. Efisiensi yang dimiliki sekitar 40% dan temperatur operasi dari sel bahan bakar *direct methanol* memiliki cakupan yang sama dengan sel bahan bakar PEM yaitu sekitar 60-120°C. Efisiensi yang lebih tinggi di dapat pada temperatur yang lebih tinggi. Sel bahan bakar metanol sedang dikembangkan untuk industri transportasi.

4) *Phosphoric Acid Fuel Cells* (PAFC)

Phosphoric Acid Fuel Cells (PAFC) menggunakan asam fosfat sebagai elektrolit untuk menghasilkan energi listrik. Efisiensi berkisar antara 40-80% dan temperatur operasi sekitar 150-220°C. Potensi sel bahan bakar *Phosporic Acid* mencapai 200 kW.

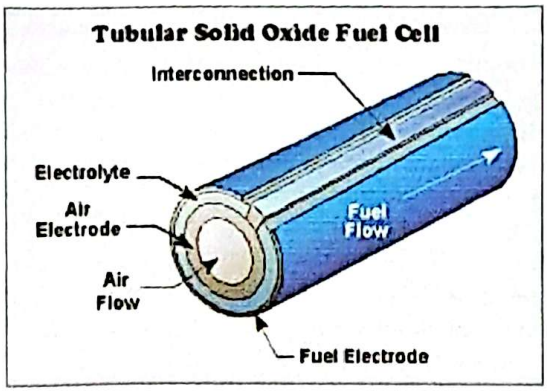
5) *Molten Carbonate Fuel Cells* (MCFC)

Molten Carbonate Fuel Cells (MCFC) menggunakan elektrolit kombinasi dari alkali karbonat, atau kombinasi Na dan K yang dicampur didalam sebuah matriks. Katalis *nickel electrode* dari *Molten Carbonate Fuel Cells* tidak terlalu mahal dibandingkan penggunaan sel bahan bakar lainnya, tetapi dengan temperatur kerja tinggi menjadi masalah material serta unsur keamanan pada penggunaan MCFC.

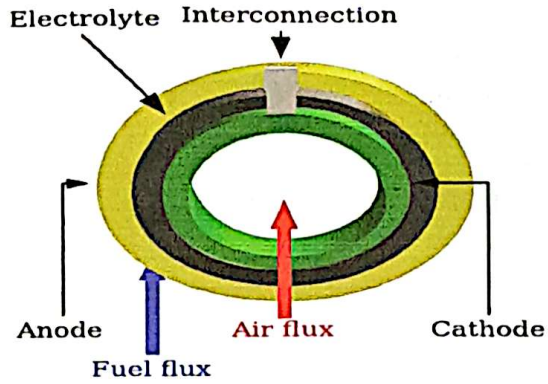
MCFC beroperasi pada temperatur yang tinggi yaitu 600-700°C sehingga digunakan untuk keperluan industri dan pembangkit tenaga listrik. MCFC dapat dipakai untuk menghasilkan energi yang besar, energi sebesar 10 kW dan 2 MW telah diuji coba di Jepang dan Italia.

6) *Solid Oxide Fuel Cells* (SOFC)

Solid Oxide Fuel Cells (SOFC) ini menggunakan material dari keramik keras, (seperti kalsium atau zirkonium), memungkinkan untuk operasi temperatur tinggi, dan banyak dicoba untuk keperluan stasiun pembangkit tenaga listrik. Daya *output* dari SOFC ini dapat mencapai 100 kW. Sel ini berbentuk tabung.



Gambar 2.2 *Solid Oxide Fuel Cell* (SOFC).



Gambar 2.3 Penampang *Solid.*

Tabel 2.1 Klasifikasi *Fuel cell* Berdasarkan Bahan Bakar, Elektrolit, Temperatur Operasi, Karakteristik, dan Penggunaannya.

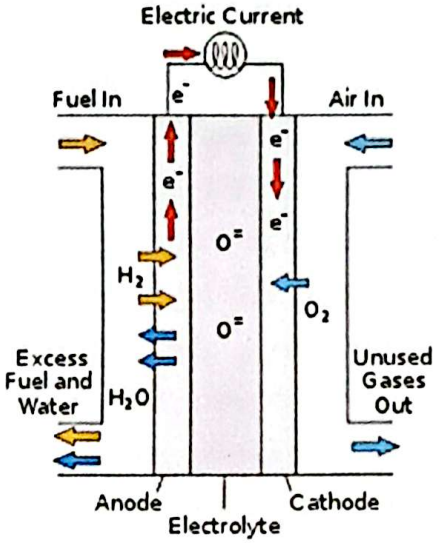
Jenis	Elektrolit	Temperatur operasi (°C)	Karakteristik	Penggunaan
Alkaline Fuel Cell (AFC)	*Kalilauge* (KOH)	150 – 260	Efisiensi energi tinggi, memiliki kepekaan terhadap CO_2	Pesawat ruang angkasa.
Polymer Excharge Membrane Fuel Cell (PEMFC)	*Polymer electrolyte* (H^+)	60 – 100	Kerapatan energi tinggi, memiliki kepekaan terhadap CO (<100 ppm)	Kendaraan (sedan, bus, minivan).

Direct Methanol Fuel Cell (DMFC)	*Polymer electrolyte* (H^+)	60 – 120	Efisiensi sistem tinggi, peka terhadap hasil oksidasi di anoda	Kendaraan (sedan, bus, minivan).
Phosporic Acid Fuel cell (PAFC)	*Phosphor Acid* (H^+)	150 – 220	Efisiensi energi terbatas, peka terhadap CO (<1,5% Vol)	Stasiun pembangkit panas.
Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC)	*Molten Carbonate* (CO_3^{2-})	600 - 700	Masalah pada korosi	Stasiun pembangkit energi panas, pembangkit energi listrik.
Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)	Lapisan keramik (O^{2-})	800 – 1000	Efisiensi sistem tinggi, temperatur operasi perlu diturunkan	Pembangkit energi panas, penggabungan stasiun pembangkit dengan turbin gas.

Sumber: Suhada, Hendrata., 2001

2.2 *Solid Oxide Fuel Cell* (SOFC)

Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) adalah suatu jenis perangkat elektrokimia yang dapat mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik secara langsung sehingga lebih efisien dan bahan bakarnya bebas dari polusi (EG&G Technical Service Inc., 2004). SOFC ini sangat berguna dalam aplikasi berdaya tinggi seperti industri dan stasiun pembangkit listrik berskala besar. Efisiensi untuk jenis sel bahan bakar ini bisa mencapai hingga 70%.



Gambar 2.4 Reaksi *Solid Oxide Fuel Cell.*

SOFC seperti layaknya *fuel cell* yang lainnya yaitu terdiri dari tiga komponen utama yaitu anoda, elektrolit, dan katoda.Pada anoda terjadi reaksi oksidasi bahan bakar yaitu hidrogen. Elektron yang dilepaskan di anoda kemudian dialirkan melalui sirkuit elektrik eksternal untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik. Elektron tersebut kemudian masuk ke katoda, sehingga di katoda terjadi reaksi reduksi zat oksidan yaitu oksigen. Ion oksida hasil reduksi kemudian mengalir melalui komponen elektrolit untuk bereaksi dengan ion positif atau molekul bahan bakar di anoda untuk menghasilkan air. Agar ion oksida dapat bergerak dalam material elektrolit dan reaksi katalitik berlangsung dengan cepat maka dibutuhkan suhu operasional yang sangat tinggi. Adapun persamaan reaksi dari reaksi-reaksi yang terjadi pada anoda maupun katoda adalah sebagai berikut :

Katoda : $O_2 + 4e^- \rightarrow 2O^{2-}$

Anoda : $H_2 + O^{2-} \rightarrow H_2O + 2e^-$

Reaksi Keseluruhan : $H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$

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

Bagian terpenting pada SOFC adalah elektrolit padat, yang membutuhkan konduktivitas ionik tinggi agar stabil pada keadaan oksidasi maupun reduksi. Elektrolit yang biasa digunakan pada SOFC adalah terbuat dari keramik padat seperti *Yttrium Stabilized Zirconia* (YSZ). YSZ adalah padatan yang tahan lama dan banyak berguna pada sistem industri besar. Meskipun YSZ adalah konduktor ion yang baik, tetapi ia hanya bekerja pada suhu yang relatif tinggi (800°C-1000°C). Namun demikian, penggunaan suhu operasional yang sangat tinggi yaitu di rentang 800-1000°C seringkali menimbulkan masalah pada bahan, misalnya degradasi termal dan terjadi reaksi diantara komponen dalam SOFC yang mengakibatkan menurunnya tegangan sel dan daya luaran sel (Fuentes & Baker., 2008). Berdasarkan masalah tersebut maka diperlukan penurunan temperatur operasional SOFC. Untuk menurunkan temperatur, terdapat dua pilihan yang memungkinkan yaitu mengurangi ketebalan elektrolit atau mengembangkan elektrolit alternatif dengan konduktivitas ionik yang tinggi pada suhu menengah (600°C-800°C) (Tian *et al.*, 2014).

Sekarang ini, pengembangan teknologi SOFC lebih difokuskan terhadap pencarian kombinasi baru antara elektroda dan elektrolit sehingga dapat menghasilkan SOFC dengan efisiensi tinggi meskipun suhu operasional berada di rentang suhu intermediet (600-800°C). YSZ memiliki konduktivitas ionik yang rendah pada suhu operasi dibawah 800^0C dan tidak sesuai untuk SOFC suhu rendah, maka dari itu diperlukan alternatif lain bahan sel elektrolit (Raharjo, *et al.*, 2007). *Cerium* ion *doped* (gadolinium dan samarium doping), dianggap sebagai yang kandidat yang paling menjanjikan untuk suhu menengah (Abdullah, *et al.*, 2009).

SOFC suhu rendah menarik karena penurunan biaya produksi dan meminimalisir degradasi material sehingga *life time* penggunaan dapat lebih lama (Ormerod., 2003). Pada suhu rendah banyak peluang baru yang muncul untuk penggunaan bahan murah untuk seluruh sistem sel bahan bakar (Zhu., 2006).

2.3 Komponen-Komponen Utama SOFC (Sammes, N. M., 2006)

SOFC terdiri dari anoda, katoda dan elektrolit yang masing-masingnya memiliki peran penting dalam menghasilkan energi listrik.

2.3.1 Anoda

Anoda dalam perangkat SOFC berperan sebagai tempat tereduksinya bahan bakar (gas hidrogen). Secara umum bahan untuk anoda SOFC diharuskan terbuat dari bahan kimia yang baik, stabilitas termal selama fabrikasi, memiliki konduktivitas elektronik yang tinggi dibawah kondisi operasi sel bahan bakar, aktivitas katalitik yang sangat baik terhadap oksidasi bahan bakar (Cheng, *et al.*, 2009). Logam transisi adalah kandidat yang terbaik untuk material anoda SOFC karena memiliki aktivitas katalitik dan stabilitas yang tinggi. Berdasarkan stabilitas kimia, aktivitas katalitik dan biaya, nikel merupakan kandidat yang terbaik sebagai anoda logam (Raharjo, *et al.*, 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.

2.3.2 Katoda

Katoda dalam perangkat SOFC berperan sebagai tempat dimana oksigen murni atau oksigen dari udara tereduksi melalui reaksi elektrokimia (Jiang, S.P., Li, Jian., 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, et al., 2007).

Baru-baru ini terjadi peningkatan minat pada *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, S.P, *et al.*, 2009).

2.3.3 Elektrolit

Secara ideal, elektrolit harus memenuhi karakteristik seperti konduktivitas ionik yang tinggi, stabilitas kimia yang baik terutama pada lingkungan oksidasi maupun reduksi, sifat mekanik yang baik, struktur yang padat agar tidak terjadi kebocoran sehingga menyebabkan bahan bakar berpindah, stabilitas termal yang baik dan sesuai dengan komponen penyusun lainnya seperti katoda maupun anoda, serta ramah lingkungan. Konduktivitas ionik menjadi suatu ukuran untuk mengetahui kemampuan elektrolit dalam mengalirkan arus listrik (Jacobson, A.J., 2013).

Material yang berpotensi untuk digunakan sebagai elektrolit adalah zirconia, CeO_2, dan $La_2Ga_2O_3$. Elektrolit yang biasa digunakan adalah zirkonia terstabilkan yttria (YSZ), lantanum galat terdoping stronsium dan magnesium (LSGM), dan CeO_2 terdoping gadolinium atau samarium (GDC atau SDC). CeO_2 terdoping dengan logam tanah jarang dan metal oksida memiliki konduktivitas tinggi pada suhu yang lebih rendah dibandingkan dengan YSZ. (Jacobson, A.J., 2013).

Elektrolit berbasis *cerium* adalah bahan terbaik untuk elektrolit pada temperatur sedang (600-800°C) (Fuentes & Baker., 2008). Dopan aliovalen seperti Gd_2O_3 bereaksi dengan CeO_2 dan membentuk vakansi (kekosongan) pada kisi kristal sehingga memudahkan ion oksigen dari CeO_2 untuk berpindah, maka Gd^{3+} akan dengan mudah berikatan dengan Ce^{3+}. Vakansi ion memiliki peran penting terhadap konduktivitas ionik pada elektrolit berbasis *cerium* (Sorrel, *et al.*, 2005).

Strategi untuk menambahkan dopan (*co-doped*) menunjukan hasil konduktivitas yang lebih baik dari pada sel elektrolit *single-doped*. *Co-doped* material dapat mengurutkan vakansi oksigen menjadi lebih teratur sehingga memudahkan loncatan ion oksigen dan meningkatkan konduktivitas ionik.

2.4 Logam Tanah Jarang (*Rare Earth Elements*/REE)

2.4.1 Pengertian *Rare Earth Elements* (REE)

Rare Earth Elements (REE) adalah seperangkat tujuh belas unsur kimia dalam tabel periodik, khususnya lima belas lantanida dan ditambah dengan skandium dan yttrium. Skandium dan yttrium dianggap sebagai REE karena mereka cenderung terbentuk dari kumpulan biji yang sama sebagai lantanida dan juga sifat kimia yang mirip (IUPAC Recommendations., 2005). *Cerium* merupakan elemen yang paling melimpah (mirip dengan tembaga). Namun karena sifat geokimia mereka, REE biasanya tersebar dan tidak sering ditemukan dalam bentuk terkonsentrasi. Keberadaan mereka juga tidak ekonomis untuk di eksploitasi. Mineral yang pertama kali ditemukan adalah gadolinit, mineral ini diekstraksi dari tambang di desa *Ytterby* (Negara bagian di Swedia), banyak REE yang ditemukan berasal dari lokasi ini. Unsur lantanida dengan nomor atom rendah umumnya lebih berlimpah di bumi dibandingkan dengan nomor atom tinggi. Unsur-unsur lantanida dibagi menjadi dua kelompok, yaitu *Light Rare Earth Elements* (LREE), dan *Heavy Rare Earth Elements* (HREEs). Unsur REE mempunyai sifat reaktif tinggi terhadap air dan oksigen, bentuk senyawa stabil dalam kondisi oksida, titik leleh relatif tinggi, serta sebagai bahan penghantar panas yang tinggi.

REE tidak ditemukan di bumi sebagai unsur bebas melainkan berbentuk senyawa kompleks. Sehingga untuk pemanfaatanya, REE harus dipisahkan terlebih dahulu dari senyawa kompleks tersebut. Selama ini telah diketahui lebih dari 100 jenis *rare earth* mineral dan 14 jenis diantaranya diketahui mempunyai kandungan total % oksida REE yang tinggi. REE tersebut dikelompokkan dalam mineral karbonat, fosfat, oksida, silikat dan flourida. (http://isjd.pdii.lipi.go.id).

Tabel 2.2 Unsur-Unsur REE (Adams, 1965).

Symbol	Nama Unsur	No Atom	Symbol	Nama Unsur	No Atom
Y	Yttrium	39	Gd	Gadolinium	64
Sc	Scandium	21	Tb	Terbium	65
La	Lanthanum	57	Dy	Dysprosium	66
Ce	Cerium	58	Ho	Holmium	67
Pr	Praseodymium	59	Er	Erbium	68
Nd	Neodymium	60	Tm	Thulium	69
Pm	Promethium	61	Yb	Ytterbium	70
Sm	Samarium	62	Lu	Lutetium	71
Eu	Europium	63	Th	Thorium	90

2.4.2 Gadolinium

Gadolinium adalah elemen kimia dengan simbol Gd dan bernomor atom 64. Gadolinium berwarna putih keperakan dan merupakan logam tanah jarang. Keberadaan gadolinium pertama kali dideteksi dengan spektroskopi pada 1880 oleh de Mariginac yang memisahkan dengan oksidanya, dan logam tersebut dinamakan gadolinite. Lalu pada 1886 seorang geolog Lecoq de Boisbaudran memisahkan kandungan logamnya dan berubah nama menjadi gadolin. Gadolinium sebagai logam atau garam memiliki penyerapan neutron yang sangat tinggi dan karena itu digunakan untuk perisai dalam radiografi neutron dan dalam reaktor nuklir.

2.4.2.1 Sifat Fisika dan Sifat Kimia Gadolinium

Sifat Fisika

Gadolinium berbentuk heksagonal dan dikemas dalam bentuk α pada suhu kamar, namun bila dipanaskan hingga suhu diatas 1235°C maka dapat berubah dalam bentuk β yang memiliki struktur berupa kubik. Gadolinium bersifat feromagnetik pada temperatur 20°C dan akan sangat paramagnetik jika berada pada suhu diatas 20°C. Gadolinium menunjukan magnetokalorik dimana suhu

meningkat ketika memasuki medan magnet dan menurun ketika meninggalkan magnet (Alan, 1997).

Sifat Kimia

Gadolinium yang bergabung dengan berbagai unsur membentuk Gd (III) derivatif dan membentuk senyawa biner pada temperatur tinggi. Tidak seperti REE yang lain, gadolinium relatif stabil di udara kering, namun cepat memudar di udara lembab, membentuk gadolinium (III) oksida (Gd_2O_3), lalu ke permukaan saat beroksidasi menjadi :

$4Gd + 3O_2 \rightarrow 2\ Gd_2O_3$

Gadolinium cukup bersifat elektropositif dan bereaksi lambat dengan air dingin dan cukup cepat untuk membentuk gadolinium hidroksida dengan air panas:

$2\ Gd + 6\ H_2O\ Gd \rightarrow 2\ Gd\ (OH)_3 + 3H_2$ (Wiberg, 2001)

2.4.2.2 Aplikasi Gadolinium

Gadolinium tidak memiliki banyak aplikasi yang variatif, namun gadolinium memiliki kegunaan khusus. Gadolinium memiliki kandungan neutron yang paling tinggi dari semua nuklida yang ada. Isotop ^{157}Gd digunakan untuk terapi neutron untuk menghilangkan tumor. Elemen ini sangat efektif untuk digunakan pada radiografi neutron (seperti MRA (*Magnetic Resonance Angiography*)) dan penahan reaktor nuklir. (Alan, 1997)

2.4.3 *Cerium*

Cerium ditemukan oleh Jöns Jakob Berzellius dan Wilhelm von Hisinger di Bastnas suatu wilayah di Swedia, dan secara bebas di Jerman oleh Martin Heinrich Klaproth, keduanya pada tahun 1803. *Cerium* dinamakan oleh Berzellius, nama tersebut diambil dari nama asteroid yang ditemukan dua tahun sebelumnya, *'Ceres'*. Saat pertama kali diisolasi, *cerium* masih berbentuk oksida dari *cerium*, yang dinamakan *'Ceria'*.

Cerium adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Ce. *Cerium* memiliki nomor atom 58 dan massa atom 140,12 gram/mol. Unsur yang termasuk deret lantanida ini sering digunakan sebagai unsur pembentuk

alloy aluminium dan *alloy* magnesium. Di antara anggota lantanida yang lain, *cerium* yang paling banyak ditemukan di muka bumi.

2.4.3.1 Sifat Fisika dan Sifat Kimia Cerium

Sifat Fisika

Fase	: Padat
Titik Didih	: 3716 K, 3443 ^{0}C, 6229 ^{0}F
Titik Lebur	: 1068 K, 795 ^{0}C, 1463 ^{0}F
Warna	: Putih Keperakan
Kalor Peleburan	: 5,46 kJ.mol^{-1}
Kalor Penguapan	: 398 KJ.mol^{-1}
Kapasitas kalor	: 26,94 J. mol^{-1}. K^{-1}
Massa jenis (mendekati suhu kamar)	: 6,770 g.cm3
Massa jenis cairan	: 6,55 g.cm3
Tekanan Uap (Pa)	: 1(1992 K), 10(2194 K), 100(2442 K),
Konduktivitas termal	: 11.3 W. m^{-1}.K^{-1}
Modulus young	: 33.6 Gpa

Sifat Kimia

Nomor atom	: 58
Massa atom standar	: 140.116 gram / mol
Bilangan oksidasi	: 4, 3, 2
Energi Ionisasi	: pertama : 534.4 kJ.mol^{-1}
	kedua : 1050 kJ.mol^{-1}
	ketiga : 1949 kJ.mol^{-1}
Jari – jari atom	: 181.8 pm
Elektronegativitas	: 1,12
Pembenahan magnetik	: paramagnetik
Struktur kristal	: *face – centered cubic*
Volume atom	: 21 (cm^3 / mol)

Cerium adalah zat pereduksi yang kuat. *Cerium* (IV) oksida adalah oksidator yang sangat kuat, pada temperatur tinggi akan bereaksi dengan bahan organik. Dalam air dingin *cerium* terdekomposisi dengan lambat, tetapi bisa terdekomposisi dengan cepat bila berada dalam air hangat. *Cerium* mudah berikatan dengan atom oksigen sehingga pada suhu kamar, *cerium* mudah berkarat, apalagi jika udaranya lembab. Uap dari *cerium* yang terbakar merupakan racun. Air tidak boleh digunakan dalam menghentikan *cerium* yang terbakar yang secara reaksi akan menimbulkan gas hidrogen. Para ilmuwan meyakini bahwa *cerium* memiliki empat modifikasi alotropi. Pada suhu kamar dan tekanan atmosfer *cerium* disebut sebagai *cerium*-γ. Di bawah -16°C berubah menjadi *cerium*-β. Di bawah -172°C berubah lagi menjadi *cerium*-α. Lalu transformasi *cerium* selesai pada -269°C (Rahameru., 2009).

2.4.3.2 Kegunaan *Cerium*

Aplikasi utama secara teknologi untuk *cerium* (III) oksida adalah sebagai konverter katalitis untuk reduksi emisi CO dalam gas dari kendaraan bermotor. Secara khusus, *cerium* oksida ditambahkan ke dalam bahan bakar diesel. Kegunaan penting lainnya dari *cerium* oksida adalah sebagai katalis perengkahan *(cracking)* pada pemurnian di industri perminyakan.

Senyawa-senyawa *cerium* juga digunakan dalam pembuatan kacamata, sebagai komponen dan juga pewarna. Sebagai contoh, *cerium* (IV) oksida dalam kombinasinya dengan titanium (IV) oksida memberikan warna kuning emas pada kacamata, juga memberikan selektivitas penyerapan sinar UV pada kacamata. *Cerium* digunakan dalam busur cahaya karbon, terutama dalam industri gambar-hidup seperti perbioskopan (Rahameru., 2009).

2.5 Doping

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 (Heath., 2014). Jika *cerium* didoping dengan oksida tanah

jarang yang bervalensi dua atau tiga, maka kekosongan oksigen akan terbentuk di dalam kisi sehingga meningkatkan konduktifitas ionik (Sriyanti, *et al.*, 2009). Doping yang paling sering digunakan adalah Gd^{3+}. Gadolinium *Doped Cerium* merupakan salah satu elektrolit yang berpotensi untuk SOFC pada suhu operasi yang rendah dan dianggap menjadi salah satu elektrolit padat berbasis *cerium* yang paling baik (Aydin *et al.*, 2014).

2.6 Metode *Solid State*

Reaksi *solid state* merupakan sistem reaksi kimia yang terjadi antara dua materi padat dengan tidak adanya pelarut. Teknik ini secara luas digunakan dalam penyediaan padatan polikristalin, dimana biasanya menggunakan suhu tinggi bahkan mencapai 1000-1500 °C. Suhu yang tinggi dipilih karena materi padatan tidak dapat bereaksi pada suhu kamar. Pada suhu tinggi, laju reaksi padatan akan cukup tinggi. Laju reaksi dalam proses sintesis metode *solid state* dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain (Ismunandar., 2006):

a) Luas kontak padatan pereaksi. Pereaksi yang memiliki luas permukaan besar diperlukan untuk dapat memaksimalkan jalannya reaksi. Salah satu cara untuk dapat memaksimalkan luas kontak tersebut dengan membuat *pellet* dari campuran pereaksi.

b) Laju difusi. Peningkatan laju difusi dapat dilakukan dengan menaikkan suhu reaksi dengan memasukkan defek. Defek dapat dimasukkan dengan memulai reaksi dengan reagen yang terdekomposisi terlebih dahulu sebelum atau selama bereaksi.

c) Laju nukleasi fasa produk. Peningkatan laju nukleasi produk dapat dilakukan dengan menggunakan reaktan yang memiliki struktur kristal mirip dengan struktur kristal produk (reaksi topotaktik dan epitaktik).

Suhu tinggi dipilih karena dalam kenyataannya padatan-padatan tidak akan bereaksi pada suhu kamar, sementara pada suhu tinggi, laju reaksi padatan-padatan itu akan cukup tinggi. Suhu tinggi berperan penting pada metode sintesis reaksi antar padatan *(solid state reaction)* di samping faktor tekanan. Pada reaksi antar padatan, campuran senyawa digerus dengan mortar dan dibuat dalam bentuk *pellet*

dengan di *press*, lalu ditempatkan pada cawan dan dipanaskan di tanur. Cawan yang digunakan harus terbuat dari bahan yang inert seperti silika, alumina, atau platina. Hal ini agar tidak terjadi reaksi sampingan dengan cawan. Reaksi antar padatan sangat luas penggunaannya pada senyawa oksida biner atau tersier (Sunandar., 2006).

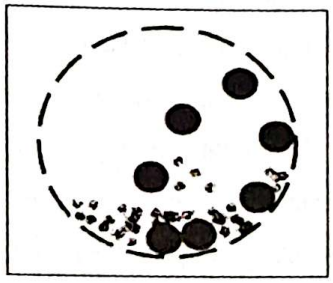
Suhu merupakan salah satu faktor yang dapat meningkatkan migrasi ion pada reaksi antar padatan. Faktor lain adalah dengan memperkecil ukuran serbuk. Hal ini akan memperbesar luar permukaan sehingga bidang kontak akan semakin luas. Teknik yang dapat digunakan untuk memperkecil ukuran serbuk oksida adalah menggerus dengan bola-bola logam kecil dalam suatu wadah yang diputar *(high ball energy milling)*. Teknik ini memiliki kelemahan karena dapat merusak struktur kristal padatan, sehingga sifat kimianya akan berubah. Batas ukuran serbuk kristal untuk reaksi antar padatan yang baik adalah 0,1 μm (Yasmin, dkk., 2011).

2.7 *Ball Mill*

Ball mill merupakan salah satu instrumen/alat yang dapat digunakan untuk memproduksi nanomaterial. Komponen *ball mill* ini terdiri atas sebuah tabung (vial) penampung material dan bola-bola penghancur. Pada proses pembuatan nanomaterial menggunakan *ball mill* ini, material yang akan dibuat ukurannya menjadi skala nano dimasukkan kedalam vial bersama bola-bola penghancur, lihat Gambar 2.6. Kemudian *ball mill* digerakan bisa secara rotasi maupun vibrasi dengan frekuensi tinggi. Gerakan rotasi atau vibrasi ini dapat divariasi sesuai kebutuhan. Akibatnya material yang terperangkap antara bola penghancur dan dinding vial akan saling bertumbukkan menghasilkan deformasi pada material tersebut. Deformasi material tersebut menyebabkan fragmentasi struktur material sehingga terpecah menjadi susunan yang lebih kecil (Diana., 2010).

Parameter lama penggilingan merupakan salah satu faktor penting yang berpengaruh dari metode *ball mill*. Parameter ini sangat erat kaitannya dengan efisiensi proses dan menentukan ukuran partikel yang dihasilkan. Hal ini akan berdampak pada sifat fisik maupun kimia *powder* hasil *ball mill*, sehingga perlu diketahui pengaruh lama *ball mill* terhadap *powder* yang dihasilkan.

Gambar 2.5 ***Planetary Ball Mill***
(Sumber : www.retsch.co.kr., 2014).



Gambar 2.6 Material dan bola penghancur didalam vial (dinding vial = lingkaran dengan garis putus-putus, bola penghancur = bulat hitam besar, material = bulat hitam kecil)
(Sumber : Diana., 2010).

2.8 Kalsinasi

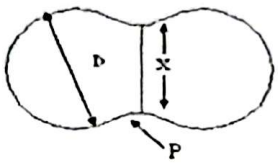
Kalsinasi adalah proses pembakaran tahap awal yang merupakan reaksi dekomposisi secara endotermik (memerlukan panas) dan berfungsi melepaskan gas-gas dalam bentuk karbonat atau hidroksida, sehingga menghasilkan bahan dalam bentuk oksida dengan kemurnian yang tinggi. Peristiwa yang terjadi selama kalsinasi antara lain :

a. Pelepasan air bebas (H_2O) dan terikat (OH), berlangsung sekitar suhu 100^oC hingga 300^oC.
b. Pelepasan gas-gas, seperti: CO_2 berlangsung sekitar suhu 600^oC dan pada tahap ini disertai terjadinya pengurangan berat yang cukup berarti.
c. Pada suhu lebih tinggi, sekitar 800^oC struktur kristalnya sudah terbentuk, dimana pada kondisi ini ikatan antara partikel serbuk belum kuat dan mudah lepas (James., 1988).

2.9 Sintering

Fayed and Otten (1997) menyatakan 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. Menurut German (1994), 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.

Energi yang digunakan untuk menggerakan 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 pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Permodelan partikel
(Sumber : German., 1994).

Proses sintering dapat berlangsung apabila :

- Adanya transfer materi diantara butiran (proses difusi).
- Adanya sumber energi yang dapat mengaktifkan transfer materi, kemudian energi tersebut digunakan untuk menggerakan 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, P., 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.

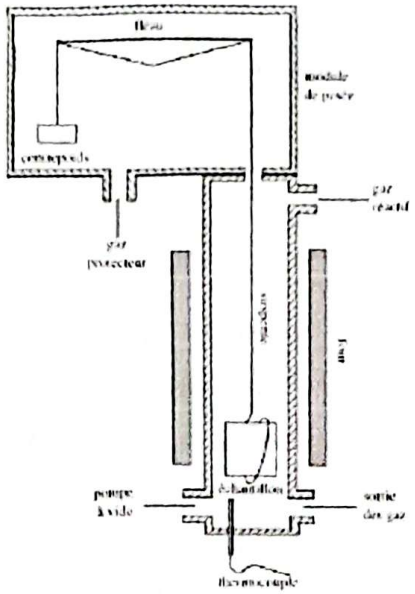
Laju penyusutan dipengaruhi oleh waktu dan temperatur sintering. Pengaruh temperatur sintering terhadap perubahan densitas dan porositas saling berlawanan. Apabila temperatur sintering semakin tinggi maka kekuatan mekanik dan ukuran butir semakin besar sedangkan porositas dan sifat listriknya menurun (German, 1991).

2.10 Karakterisasi Gadolinium *Doped Cerium* (GDC)

2.10.1 *Thermal Gravimetric Analysis* (TGA)

TGA merupakan teknik analisis yang digunakan untuk menentukan stabilitas panas suatu senyawa dengan melihat perubahan massa yang hilang ketika sampel dipanaskan, semakin besar nilai perubahan massa yang hilang mengindikasikan bahwa senyawa tersebut tidak stabil digunakan ketika dipanaskan (Blank, *et al.*, 2008). Pengukuran digunakan untuk menentukan komposisi material dan memprediksi stabilitas termalnya pada temperatur mencapai 1000°C. Teknik ini dapat mengkarakterisasi material yang menunjukkan kehilangan atau pertambahan berat akibat dekomposisi, oksidasi, atau dehidrasi. Teknik ini sesuai untuk berbagai macam material padat termasuk material organik maupun anorganik (Perkin, E., 2010).

Prinsip Kerja TGA



Gambar 2.8 Skema Kerja TGA
Sumber: Nanjwade, Basavaraj K., 2013

Berat sampel yaitu 10-20 mg untuk aplikasi pada umumnya dan 50-100 mg untuk pengukuran zat-zat mudah menguap. 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 untuk mengontrol lingkungan sampelnya. Gas yang digunakan dapat berupa gas inert atau gas reaktif yang mengalir melalui sampel dan keluar melalui *exhaust*.

Aplikasi

Analisa TGA banyak digunakan untuk mengkarakterisasi dan menentukan material. TGA dapat digunakan pada banyak industri seperti pada lingkungan, makanan, farmasi, dan petrokimia. Kebanyakan pengujian TGA menggunakan sampel yang dialiri gas inert. Hal tersebut dilakukan agar sampel hanya bereaksi terhadap suhu selama dekomposisi. Saat sampel

dipanaskan pada atmosfer inert proses, terjadi suatu proses yang biasanya disebut pirolisis. Pirolisis merupakan dekomposisi kimia dari material organik dengan pemanasan saat tidak adanya oksigen atau reagen lainnya (Arianti, M., 2011).

2.10.2 *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

Metode spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infra Red*), yaitu metode spektroskopi infra merah modern yang dilengkapi dengan teknik Transformasi *Fourier* untuk deteksi dan analisis hasil spektrumnya. Dalam hal ini metode spektroskopi yang digunakan adalah metode spektroskopi absorbsi, yaitu metode spektroskopi yang didasarkan atas perbedaan penyerapan radiasi infra merah oleh molekul suatu materi. Absorbsi 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 (Arherthon, *et al.*, 2010). Adapun prinsip dari FTIR adalah sebagai berikut:

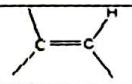
- Penyerapan sinar IR oleh molekul/ikatan yang bervibrasi.
- Penyerapan sinar IR menyebabkan berubahnya frekuensi vibrasi.
- Sinar yang diserap karakteristik untuk setiap ikatan.

FTIR sangat berguna untuk mengidentifikasi bahan kimia baik yang organik atau anorganik serta analisa kualitatif dan analisa kuantitatif. Hal ini dapat diterapkan pada analisis padatan, cairan, dan gas. FTIR dapat digunakan untuk mengidentifikasi bahan kimia seperti cat, polimer, *coating*, obat-obatan, dan kontaminan. FTIR merupakan alat yang paling ampuh untuk mengidentifikasi jenis ikatan kimia (kelompok fungsional). Griffiths (1975) (dalam (Nugraha, F.E., 2008)) menyatakan FTIR terdiri dari 5 bagian utama, yaitu :

1. Sumber sinar, yang terbuat dari filamen Nerst atau globar yang dipanaskan menggunakan listrik hingga temperatur 1000-1800°C.

2. *Beam spitter*, 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 yamg dihasilkan. Detektor yang sering digunakan adalah termokopel dan balometer.

Tabel 2.3 Ikatan Kimia Dalam Hasil Uji FTIR.

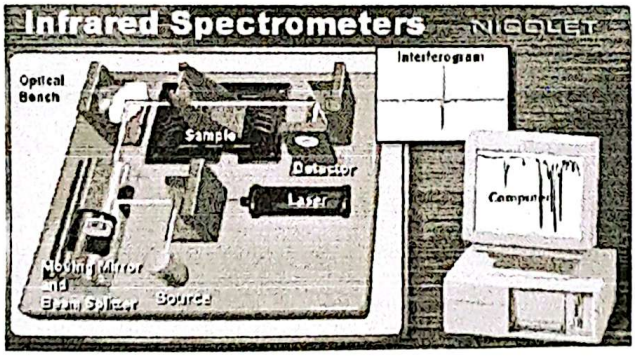
Ikatan	Tipe Senyawa	Daerah frekuensi (cm^{-1})
C - H	Alkana	2850 – 2970 1340 - 1470
C - H	 Alkena	3010 – 3095 675 - 995
C - H	Alkuna —C≡C—	3300
C - H	Cincin Aromatik	3010 – 3100 690 – 900
O - H	Fenol, monomer alkohol, alkohol ikatan hidrogen, fenol monomer asam karboksilat, ikatan hidrogen asam karboksilat	3590 – 3650 3200 – 3600 3500 – 3650 2500 - 2700
N - H	Amina, Amida	3300 – 3500
C=C	Alkena	1610 – 1680
C=C	Cincin Aromatik	1500 – 1600
C≡C	Alkuna	2100 – 2260
C - N	Amina, Amida	1180 – 1360
C≡N	Nitril	2210 – 2280
C – O	Alkohol, Eter, Asam Karborsilat, Ester	1050 – 1300
C=O	Aldehid, Keton, Asam Karboksilat, Ester	1690 – 1760
NO_2	Senyawa Nitro	1500 – 1570 1300 - 1370

Sumber : *Principle of Instrumental Analysis*, Skoog, Holler, Nieman, 1998.

Secara keseluruhan, analisis menggunakan spektrofotometer FTIR memiliki kelebihan utama dibandingkan metoda konvensional lainnya, yaitu :

1. Dapat digunakan pada semua frekuensi dari sumber cahaya secara simultan sehingga analisis dapat dilakukan lebih cepat daripada menggunakan cara sekuensial atau *scanning*.
2. Sensitifitas dari metoda spektrofotometri FTIR lebih besar daripada cara dispersi, sebab radiasi yang masuk ke sistem detektor lebih banyak karena tanpa harus melalui celah *(slitless)* (Giwangkara S., 2006).
3. Pada FTIR, mekanik optik lebih sederhana dengan sedikit komponen yang bergerak dibanding spektroskopi infra merah lainnya, dapat mengidentifikasi meterial yang belum diketahui, serta dapat menentukan kualitas dan jumlah komponen sebuah sampel (Hamdila., 2012).

Prinsip Kerja FTIR



Gambar 2.9 Skema Kerja FTIR
(Sumber : Nugraha, F.E., 2008).

Prinsip kerja pada alat FTIR mula-mula 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 ini akan diubah menjadi spektra IR dengan bantuan komputer berdasarkan operasi matematika (Tahid., 1994).

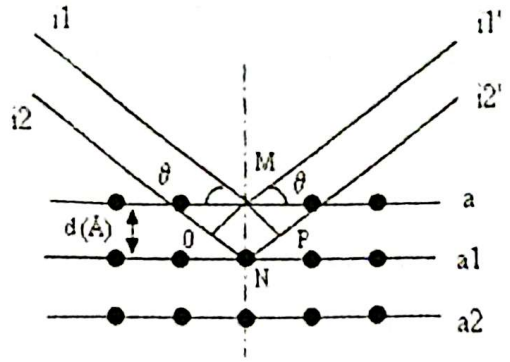
2.10.3 *X-Ray Diffraction* (XRD)

XRD digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Semakin kecil ukuran kristal maka semakin besar konduktivitas ionik (Raharjo, *et al.*, 2007). Sinar-X adalah gelombang elektromagnetik yang memiliki energi antara 200 eV-1 MeV dengan panjang gelombang 0.05-0.25 nm (0.5-2.5 Å) yang mendekati jarak antar atom kristal. Penemuan sinar-X oleh Wilhelm Roentgen pada tahun 1895 menyediakan suatu alat yang sangat baik untuk menentukan struktur kristal. XRD merupakan alat yang digunakan untuk mengkarakterisasi struktur kristal dan ukuran kristal dari suatu bahan padat. Semua bahan yang mengandung kristal tertentu ketika dianalisis menggunakan XRD akan memunculkan puncak-puncak yang spesifik, sedangkan kelemahan alat ini adalah tidak dapat mengkarakterisasi bahan yang bersifat amorf (Abdullah & Khairurrijal., 2009). Terdapat tiga komponen dasar XRD yaitu sumber sinar-X, material yang diuji (*specimen*), dan detektor sinar-X (*X-Ray detector*) (Sartono., 2006).

Prinsip Kerja XRD

Prinsip dasar XRD adalah mendifraksi cahaya yang melalui celah kristal. Difraksi cahaya oleh kisi-kisi atau kristal ini dapat terjadi apabila difraksi tersebut berasal dari radius yang memiliki panjang gelombang yang setara dengan jarak antar atom, yaitu sekitar 1 Å. Radiasi yang digunakan

berupa radiasi sinar-X, elektron, dan neutron. Sinar-X merupakan foton dengan energi tinggi yang memiliki panjang gelombang berkisar antara 0.5 sampai 2.5 Å. Ketika berkas sinar-X berinteraksi dengan suatu material, maka sebagian berkas akan diabsorpsi, ditransmisikan, dan sebagian lagi dihamburkan terdifraksi. Hamburan terdifraksi inilah yang dideteksi oleh XRD. Berkas sinar-X yang dihamburkan tersebut ada yang saling menghuilangkan karena fasanya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasanya sama. Berkas sinar-X yang saling menguatkan itulah yang disebut sebagai berkas difraksi. Hukum Bragg merumuskan tentang persyaratan yang harus dipenuhi agar berkas sinar-X yang dihamburkan tersebut merupakan berkas difraksi. Ilustrasi difraksi sinar-X dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Difraksi Sinar-X Oleh Atom-Atom Pada Bidang

(Sumber : Ismunandar., 2006).

Dari gambar 2.10 dapat di deskripsikan sebagai berikut : Sinar datang yang menumbuk pada titik pada bidang pertama dan dihamburkan oleh atom M. Sinar datang yang kedua menumbuk bidang berikutnya dan dihamburkan oleh atom N. Sinar ini menempuh jarak ON + NP bila dua sinar tersebut paralel dan satu fasa (saling menguatkan). Jarak tempuh ini merupakan kelipatan (n) dan panjang gelombang (λ), sehingga persamaan menjadi :

$$n\lambda = ON + NP \qquad (1.1)$$

$$n\lambda = d \sin 0 + d \sin 0 = 2\, d \sin 0 \qquad (1.2)$$

Persamaan diatas dikenal juga sebagai hukum Bragg, dimana λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan, d adalah jarak antara dua bidang kisi, 0 adalah sudut antara sinar datang dengan bidang normal, dan n adalah bilangan bulat yang disebut sebagai orde pembiasan.

Berdasarkan persamaan Bragg, jika seberkas sinar-X dijatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal 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, semakin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya. Setiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi (Abdullah & Khairurrijal., 2009).

2.10.4 Densitas

Densitas pada material didefinisikan sebagai perbandingan antara massa (m) dengan volume (v). Densitas dinyatakan dalam g/cm^3 dan dilambangkan dengan ρ :

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Dimana : m = massa (gram)
v = volume (cm^3)
ρ = densitas (g/cm^3)

Uji ini dilakukan untuk mengetahui sifat fisik material uji. Dalam hal ini densitas spesimen *pellet* elektrolit GDC hasil sintering yang mengacu pada standar ASTM C.373-88. Pengujian dilakukan dengan menggunakan prinsip *Archimedes*.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di *Laboratorium* Pusat Teknologi Material, Gedung 224, Pusat Teknologi Material-Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (PTM-BPPT), Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan pada bulan Maret-April 2017.

3.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini, yaitu :

A. Alat yang digunakan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini, yaitu :

1. *Beaker glass* 100 ml.
2. Gelas ukur 100 ml.
3. Spatula.
4. Pipet.
5. Kertas timbang.
6. Timbangan analitik.
7. *Magnetic stirrer.*
8. Mortar.
9. Cawan
10. Oven.
11. *Furnace.*
12. Alumunium foil.
13. *Crucible.*
14. *Jar Ball Mill.*
15. Alumina *ball.*
16. Cetakan *pellet.*
17. *Hydrolic Pressure.*

18. Alat uji FTIR.
19. Alat uji TGA.
20. Alat uji XRD.
21. Alat uji densitas.

B. Bahan yang digunakan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini, yaitu :

1. Gadolinium (III) Oksida (Gd_2O_3) Komersial *(Sigma Aldrich)*.
2. *Cerium* (IV) Oksida (CeO_2) Komersial *(Sigma Aldrich)*.
3. *Cerium* hidroksida ($Ce(OH)_4$) → dikeringkan dalam oven pada suhu 110 °C selama 24 jam, lalu di kalsinasi pada suhu 1000 °C selama 1 jam → *Cerium* (IV) Oksida (CeO_2) Lokal.
4. Etanol.
5. *Acrysol.*

3.3. Variabel

Variabel dalam penelitian ini adalah variabel tetap dan variabel berubah.

3.3.1 Variabel Tetap

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

- Gadolinium (III) Oksida (Gd_2O_3) : 0,5236 gram
- *Cerium* (IV) Oksida (CeO_2) Komersial : 4,4766 gram
- *Cerium* (IV) Oksida (CeO_2) Lokal : 4,4766 gram
- Etanol : 10 ml

3.3.2 Variabel Berubah

Variabel berubah adalah variabel yang divariasikan pada penelitian agar diperoleh hasil yang diinginkan. Pada penelitian ini variabel berubahnya adalah penggunaan *Cerium* (IV) Oksida (CeO_2), dalam penelitian kali ini difokuskan pada

perbandingan penggunaan *Cerium* (IV) Oksida (CeO_2) Komersial (*Sigma Aldrich)* yang memiliki nilai impuritas sebesar 99,9% dan *Cerium* (IV) Oksida (CeO_2) Lokal yang memiliki nilai impuritas 80% terhadap sintesis elektrolit Gadolinium *Doped Cerium* (GDC) dengan menggunakan metode *solid state.* Dengan rumus kimia sebagai berikut :

1. 0,9 CeO_2 (Lokal) + 0,05 $Gd_2O_3 \rightarrow Ce_{0.9}Gd_{0.1}O_{1.95}$ (Lokal)
2. 0,9 CeO_2 (Komersial) + 0,05 $Gd_2O_3 \rightarrow Ce_{0.9}Gd_{0.1}O_{1.95}$ (Komersial)

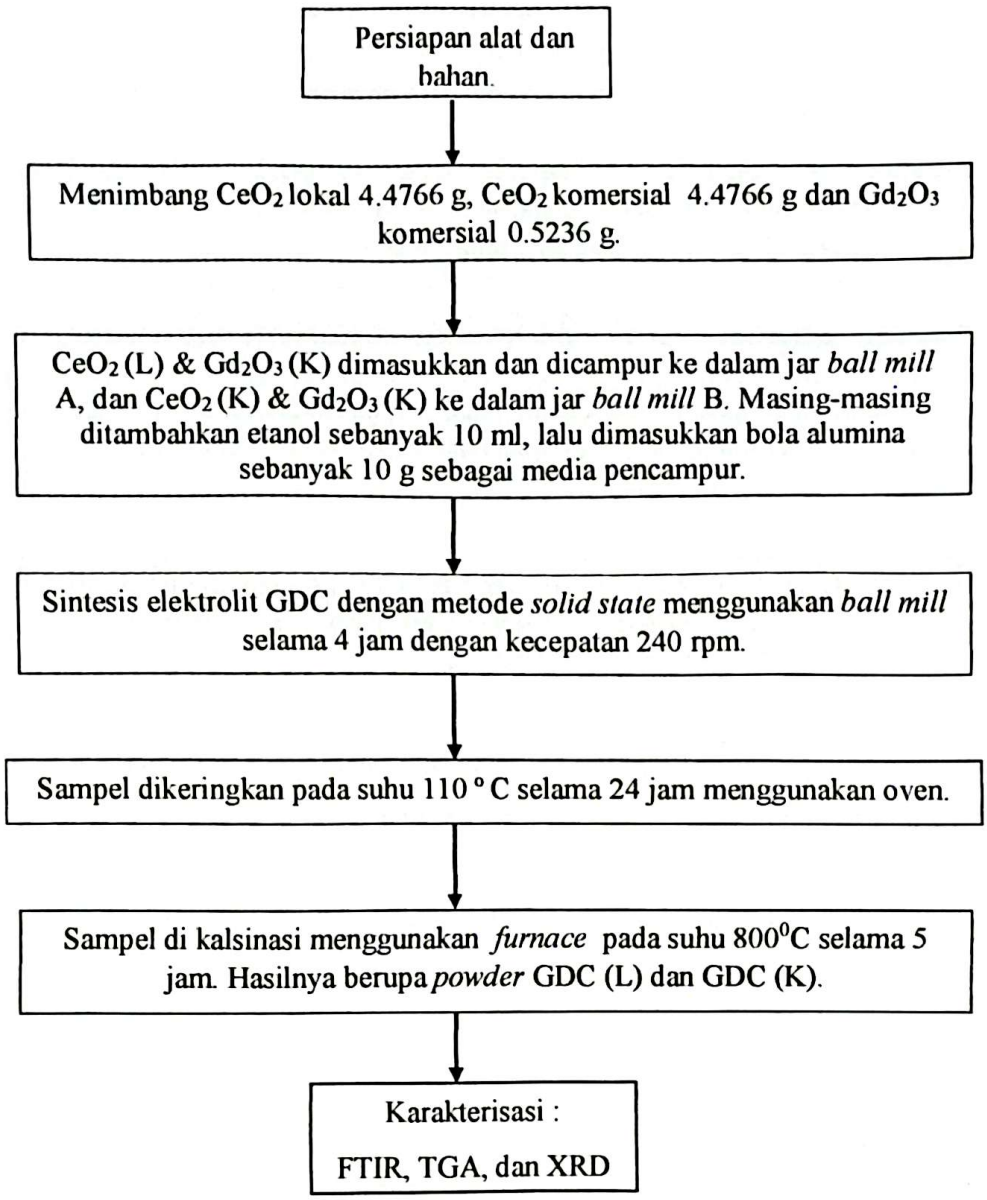
Selain itu perbandingan penggunaan *acrysol* untuk membuat larutan *pellet.* Adapun perbandingnnya, yaitu :

1. *Cerium* (IV) Oksida (CeO_2) Komersial *(Sigma Aldrich)* → *Acrysol*: 0.8 g
2. *Cerium* (IV) Oksida (CeO_2) Lokal → *Acrysol*: 1 g

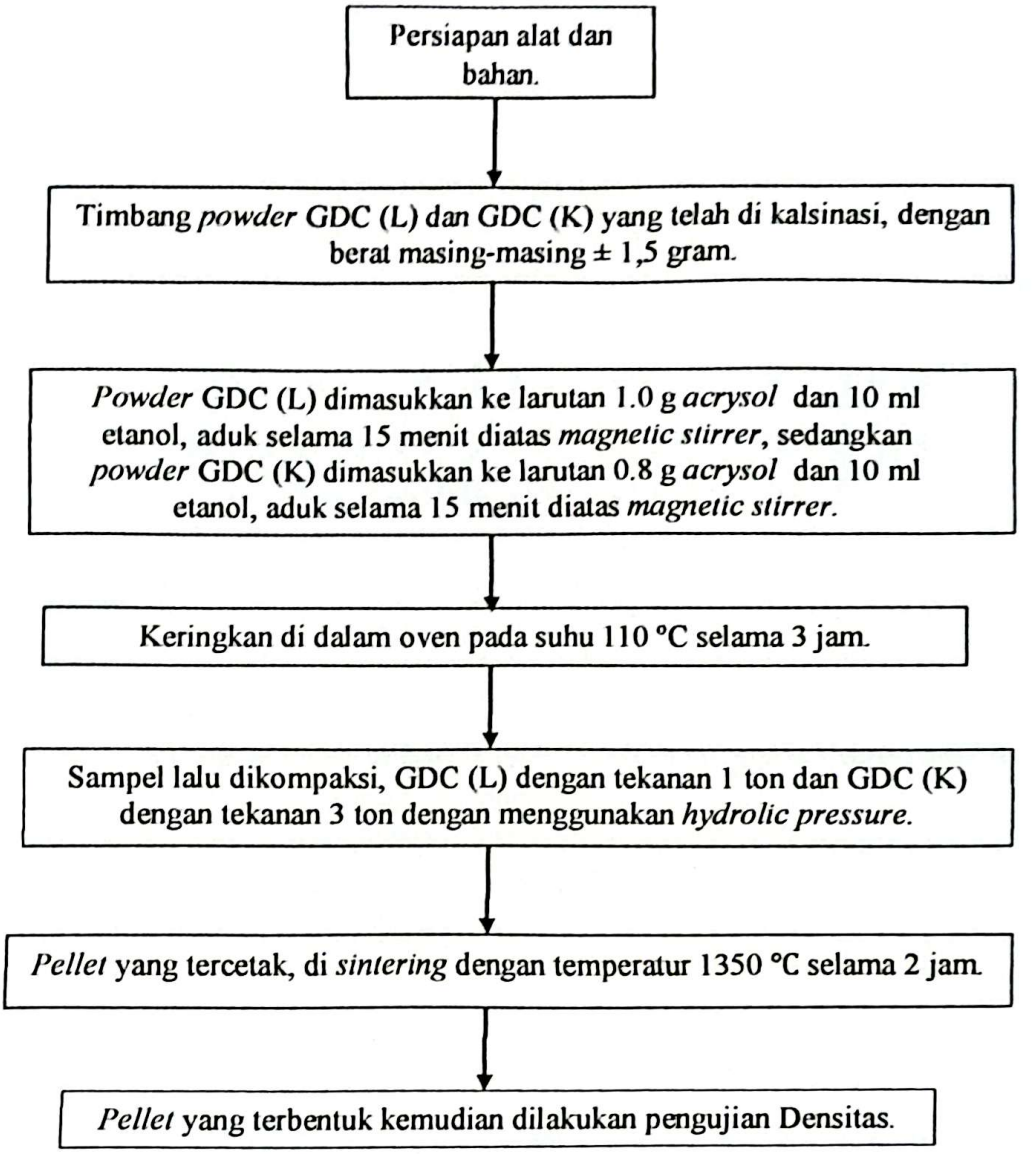
3.4. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini dapat dijabarkan dalam diagram alir penelitian secara keseluruhan sebagai berikut :

Gambar 3.1 Diagram Alir Pembuatan *Powder* GDC.



Gambar 3.2 Diagram Alir Pembuatan *Pellet* GDC.



Prosedur Kerja :

1. Preparasi sampel CeO_2 Lokal, ditimbang sampel berupa $Ce(OH)_4$ berupa pasta yang berasal dari Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) sebanyak 125 gram. Selanjutnya dimasukkan ke dalam oven selama 24 jam dengan suhu 110 °C. Kemudian, sampel digerus hingga halus. Sampel dikalsinasi pada suhu 1000 °C selama 1 jam.
2. Bahan ditimbang sesuai dengan perhitungan stoikiometri yaitu ; **0,5236 gram** Gadolinium (III) Oksida (Gd_2O_3) Komersial, **4,4766 gram** *Cerium* (IV) Oksida (CeO_2) Komersial, **4,4766 gram** *Cerium* (IV) Oksida (CeO_2) Lokal.
3. Setelah ditimbang kemudian CeO_2 (L) & Gd_2O_3 (K) dimasukkan dan dicampur ke dalam jar *ball mill* A, kemudian ditambahkan etanol sebanyak 10 ml, lalu dimasukkkan bola alumina sebanyak 10 gram sebagai media pencampur. Pada jar *ball mill* B dimasukkan dan dicampurkan CeO_2 (K) & Gd_2O_3 (K), kemudian ditambahkan etanol sebanyak 10 ml, lalu dimasukkan bola alumina sebanyak 10 gram sebagai media pencampur.
4. Kemudian di sintesis dengan metode *solid state* menggunakan *ball mill* selama 4 jam dengan kecepatan 240 rpm.
5. Sampel yang sudah di *ball mill* kemudian dikeringkan pada suhu 110 °C selama 24 jam menggunakan oven.
6. Setelah sampel kering kemudian di kalsinasi pada suhu 800 °C selama 5 jam menggunakan *furnace* dengan heating rate 5 °C/menit.
7. Setelah dikalsinasi, sampel berupa *powder* dibagi menjadi dua bagian. Sampel pertama digunakan untuk karakterisasi FTIR, TGA, dan XRD, sedangkan sampel kedua digunakan untuk membuat *pellet* elektrolit GDC.
8. Tata cara membuat larutan *pellet* :

   Elektrolit GDC Lokal :

   Menimbang *acrysol* sebanyak 1 g di dalam *beaker glass*, kemudian ditambahkan etanol sebanyak 10 ml. Selanjutnya tambahkan sampel GDC lokal ke dalam campuran *acrysol* dan etanol, lalu diaduk menggunakan *magnetic stirer* selama 15 menit. Kemudian sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 110^0C selama 3 jam.

Elektrolit GDC Komersial :

Menimbang *acrysol* sebanyak 0.8 g di dalam *beaker glass*, kemudian ditambahkan etanol sebanyak 10 ml. Selanjutnya tambahkan sampel GDC komersial ke dalam campuran *acrysol* dan etanol, lalu diaduk menggunakan *magnetic stirer* selama 15 menit. Kemudian sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 110^0C selama 3 jam.

9. Sampel yang sudah dikeringkan di dalam oven selanjutnya dicetak dengan menggunakan cetakan *pellet* dan di kompaksi dengan alat *hydrolic pressure*, GDC lokal dengan tekanan 1 ton sedangkan GDC komersial dengan tekanan 3 ton sehingga menjadi *pellet*.
10. *Pellet* yang sudah dicetak kemudian di sintering pada suhu 1350 °C selama 2 jam dalam *furnace*.
11. *Pellet* elektrolit GDC yang telah di sintering kemudian dilakukan uji densitas. *Pellet* elektrolit GDC dikatakan memenuhi kriteria uji densitas apabila hasil yang didapatkan > 95%.

3.5 Prosedur Pengujian Elektrolit GDC Lokal dan GDC Komersial :

3.5.1 Prosedur Pengujian *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) :

1. Menimbang ± 1 g sampel yang akan diuji.
2. Menempatkan sampel yang akan diuji pada lintasan sinar alat FTIR.
3. Melakukan pengukuran dengan alat FTIR dan mengamati grafik yang terbentuk pada monitor.
4. Menyimpan data yang dihasikan dan melakukan pembahasan (analisa) terhadap puncak-puncak *(peak)* yang terbentuk.

3.5.2 Prosedur Pengujian *Thermal Gravimetry Analysis* (TGA) :

1. Masuk ke *software* **Data *Acquisition*** hingga tampilan jendela Data *Acquisition* muncul.
2. Untuk mengalirkan gas dan air ke alat, klik ***Manual Programming*** pada menu *chart* di bagian kiri. Kemudian klik ***Modify***, pada ***valves gas ½*** dan

water flow, klik warna merah sehingga berubah menjadi hijau kemudian klik **OK**.

3. Penimbangan sampel :
   3.1. Pada menu chart bagian kiri, klik TG untuk melakukan penimbangan sampel. Ubah *Range* menjadi *Small*.
   3.2. Buka penutup TGA dengan menekan tombol di samping kanan dan kiri alat secara bersamaan hingga penutup terbuka secara maksimal.
   3.3. Masukan *crucible* untuk menimbang.
   3.4. Tutup kembali penutup TGA.
   3.5. Perhatikan perubahan berat pada *software*, jika dTG sudah menunjukkan angka mendekati 0, klik ***Run a Tare***. Maka angka ***Tared* TG** akan berubah menjadi nol (0).
   3.6. Masukkan sampel ke dalam *crucible*, timbang sampel dengan berat 10-12 mg. Tunggu hingga nilai *Tared* TG menjadi stabil, yang menandakan berat sampel yang ditimbang.
4. Membuat program pengujian :
   4.1. Pada menu bar, klik ***Windows*** kemudian klik ***Program Experiment***.
   4.2. Untuk membuat Program *experiment* baru, klik ***Experiment Properties*** pada Jendela ***Selected Experiment***. Masukkan nama program pengujian pada ***Name***, masukkan berat sampel yang diperoleh dari penimbangan sebelumnya pada ***Mass***, pilih jenis *Crucible* yang digunakan yaitu Al_2O_3.
   4.3. Pada jendela ***Procedure***, pilih ***Procedure Properties***. Pada bagian *General*, pilih ***Experiment group: Test*** untuk pengujian sampel, pilih *Carrier gas* yang digunakan. Pada ***Measure range***, pilih **TG *Range*** sesuai kebutuhan, yaitu *small*.
   4.4. Untuk mengatur kenaikan dan penurunan suhu pengujian, klik kanan pada nama sample di bagian kiri jendela. Pilih ***Add a new zone*** kemudian pilih ***Standard zone***.

4.5. Pada bagian ***Selected Zone***, pilih **PIDU-*Furnace Safety Temperature Coefficient*** untuk memasukkan ***Temperature Correction*** yang digunakan untuk pengujian.

4.6. Di bawah bagian *Conditional End* akan tampak tabel untuk mengatur kenaikan dan penurunan suhu pengujian. Pengaturan kenaikan dan penurunan suhu disesuaikan dengan jenis sampel atau standar prosedur pengujian sampel.

4.7. Untuk mengatur suhu pengujian, klik kanan pada tabel, pilih ***Add a Sequnce***. Masukkan pengaturan suhu awal ***(Initial)***, suhu akhir ***(Final)***, laju kenaikan/penurunan suhu (**S.r K/Min**) atau durasi waktu kenaikan/penurunan suhu ***(Time)***. Pada bagian ***Valves***, pastikan gas dan air terbuka (berwarna hijau). Untuk *standard zone* 1 baris tabel no 1, centang (√) tanda **TG *Tare***.

3.5.3 Prosedur Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) :

1. Siapkan sampel/bahan yang akan di analisa, ukuran harus tepat dan *specimen* (jenis) bahan harus bahan yang bisa diukur dengan XRD, biasanya bahan berbentuk *powder*.
2. Menyiapkan komputer untuk kontrol uji XRD :
   2.1. Nyalakan komputer dan monitornya, kemudian nyalakan alat XRD.
   2.2. Periksa apakah *knops* dan KV sudah pada posisi nol (0). *Set* 0 jika posisi belum pada 0, jalankan control XRD yang berada pada komputer.
   2.3. Pilih *New* kemudian ***Individual analize*** dan biarkan proses inisialisasi berjalan.
   2.4. Jika proses inisialisasi gagal maka klik *cancel* dan ulangi ulang, jika proses inisialisasi berhasil maka proses analisa bisa dilakukan.
3. Sesuaikan parameter pada XRD sesuai dengan hasil yang di inginkan.
4. Tunggu sampai proses analisa *(scan)* selesai. Setelah proses analisa selesai maka akan didapatkan data berupa grafis dengan *peak-peak* (puncak-puncak). Dari grafis itu fokuskan analisa pada puncak yang paling dominan.

3.5.4 Prosedur Pengujian Uji Densitas :

1. Menyiapkan *pellet* yang akan diuji, sebelum diuji *pellet* telah melalui proses sintering.
2. Menyiapkan alat uji densitas.
3. Kemudian, air dituangkan kira-kira 5/4 dari volume *beaker glass* dan diletakkan tiang penyangga sampel di atas neraca.
4. *Pellet* yang telah disinter ditimbang berat keringnya hingga konstan (Mk) dengan menggunakan alat uji densitas.
5. *Pellet* yang sudah ditimbang berat keringnya kemudian dimasukkan ke dalam air dan ditimbang massa basahnya (Mb).
6. *Pellet* diangkat dan dikeringkan permukaannya yang selanjutnya ditimbang kembali massa saturasinya (Ms).
7. *Pellet* yang telah ditimbang kemudian dikeringkan di dalam oven pada suhu 110 °C selama 12 jam.
8. Kemudian hitung densitas *pellet* menggunakan rumus hukum archimedes.

BAB IV

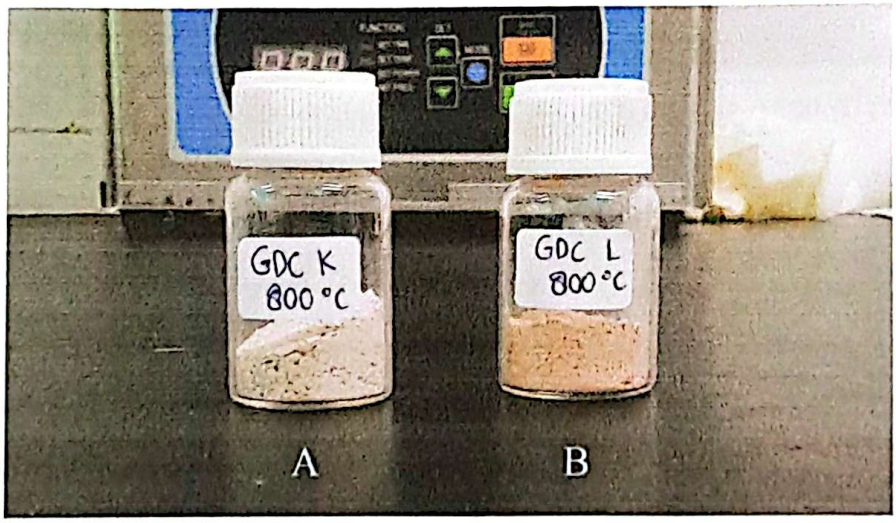
HASIL & PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan *pellet* GDC dengan bahan-bahan yang telah disebutkan pada BAB III. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan CeO_2 lokal dan CeO_2 komersial dengan suhu kalsinasi sebesar 800 °C selama 5 jam dan sintering *pellet* GDC dengan temperatur 1350 °C selama 2 jam.

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 *Powder* GDC

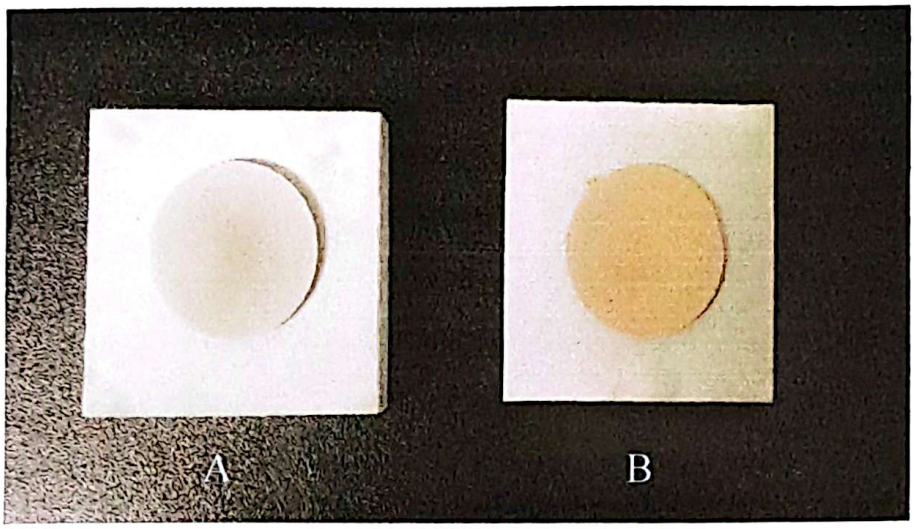
Elektrolit GDC di sintesis menggunakan metode *solid state*. Dimulai dari penimbangan bahan-bahan, dan di sintesis menggunakan *ball mill* tanpa menggunakan pelarut, hanya menggunakan etanol sebagai mediumnya, hingga kalsinasi pada suhu 800 °C dan terbentuk menjadi *powder* GDC komersial dan GDC lokal.



Gambar 4.1 *Powder* GDC Komersial 800 °C (A) & GDC Lokal 800 °C (B).

4.1.2 *Pellet* GDC

Setelah *powder* GDC komersial dan GDC lokal telah terbentuk kemudian *powder* dibuat menjadi *pellet* dengan cara mencetak *powder* dengan alat cetak *pellet*, kemudian di kompaksi dengan alat *hydrolic pressure* dengan tekanan 3 ton untuk *pellet* GDC komersial, dan tekanan 1 ton untuk *pellet* GDC lokal. Tekstur *pellet* tersebut masih rapuh dan mudah patah sehingga harus dilakukan sintering agar ketahanannya lebih kuat dan mengkilap. Gambar 4.2 adalah *pellet* GDC setelah di sintering. Proses sintering menyebabkan bersatunya partikel sedemikian rupa sehingga kepadatan serbuk bertambah.



Gambar 4.2 *Pellet* GDC Komersial 800 °C (A) & GDC Lokal 800 °C (B).

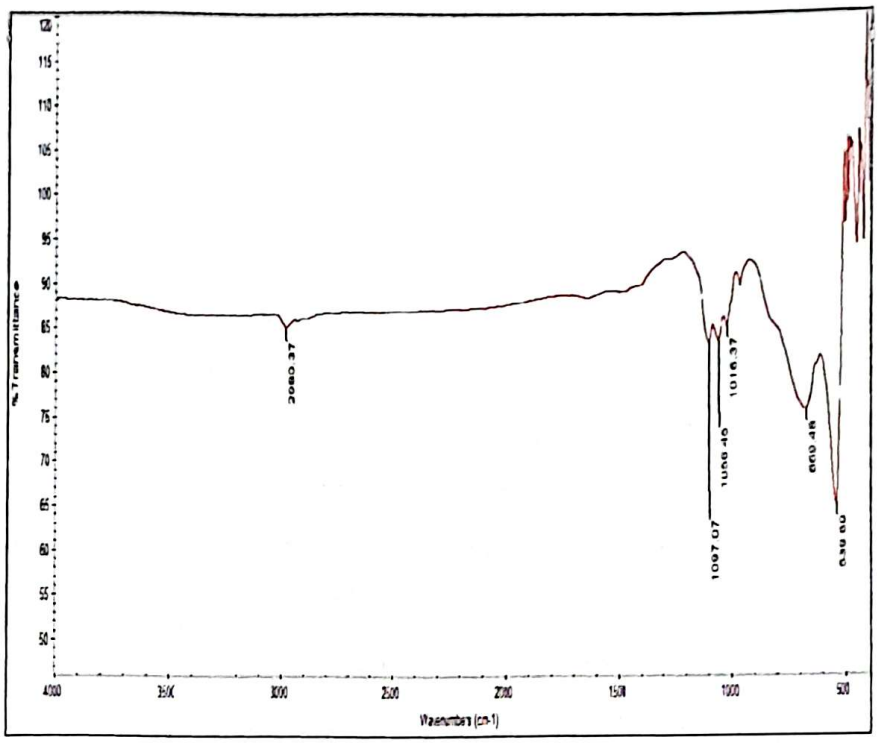
4.1.3 Hasil yang Diperoleh

Pada penelitian kali ini membuat elektrolit GDC dengan metode *solid state* dengan menggunakan bahan CeO_2 komersial dan CeO_2 lokal, masing-masing dibuat tiga sampel. Namun dari enam sampel keseluruhan yang telah selesai dibuat, hanya dua sampel yang memiliki hasil terbaik sehingga hanya dua sampel atau masing-masing satu sampel yang dilakukan pengujian untuk menentukan karakter elektrolit GDC yang dihasilkan.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Hasil dan Analisa Uji FTIR (ASTM A573)

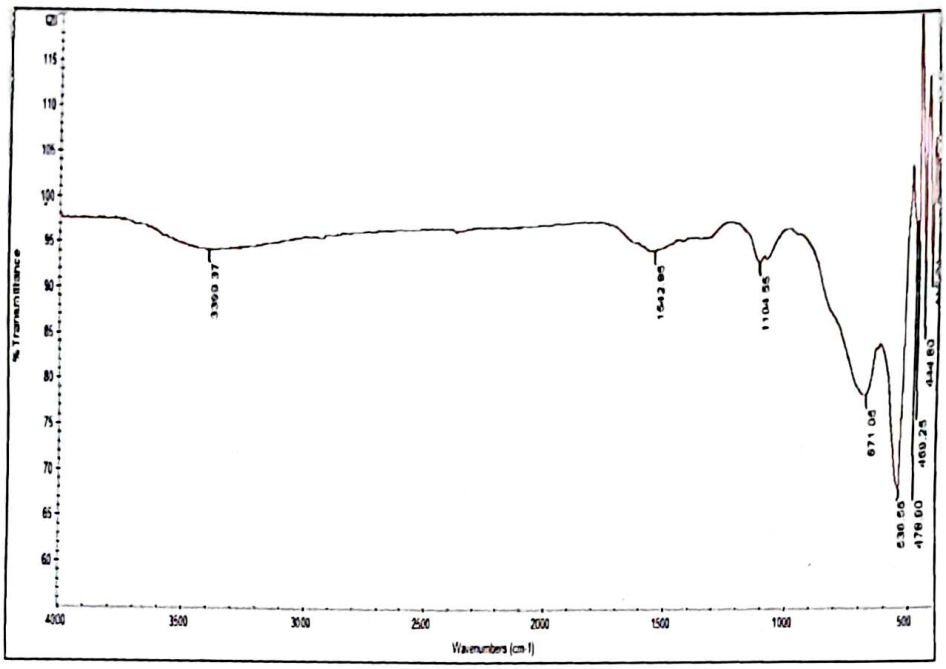
1. GDC Lokal 800 °C (*Powder*)



Gambar 4.3 Hasil Uji FTIR GDC Lokal Setelah Kalsinasi Pada Suhu 800 °C.

Gambar diatas merupakan hasil analisa FTIR GDC Lokal dengan suhu kalsinasi 800 °C, menunjukan bahwa terdapat *peak* pada panjang gelombang 1056.45 cm^{-1} dengan % *Transmttance* 84.5 yang berarti pada *powder* GDC Lokal tersebut terdapat gugus C-O. Selain itu, *peak* juga muncul pada panjang gelombang 1097.07 cm^{-1} dengan % *Transmttance* 84 yang mengindikasi adanya gugus C-O dan *peak* juga muncul pada panjang gelombang 2980.37 cm^{-1} dengan % *Transmttance* 85 yang mengindikasi adanya gugus C-H.

2. GDC Komersial 800 °C (*Powder*)

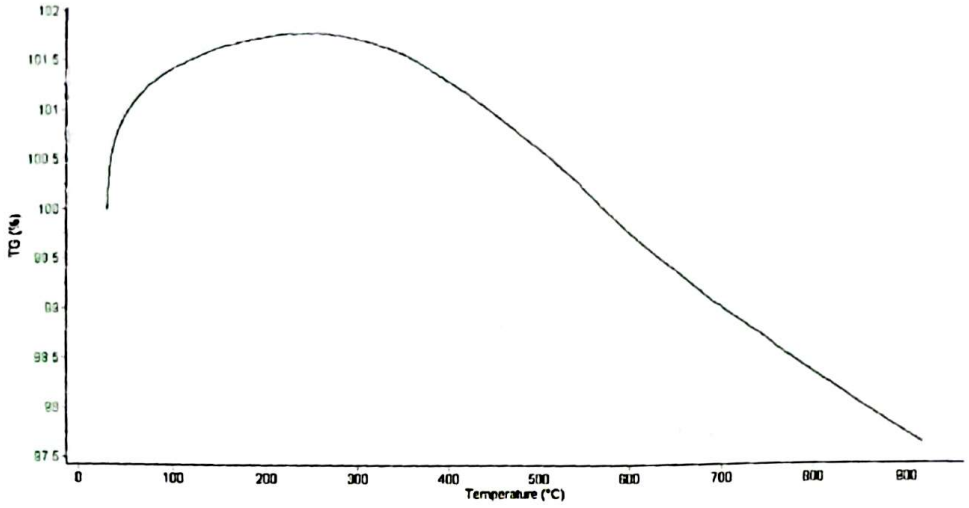


Gambar 4.4 Hasil Uji FTIR GDC Komersial Setelah Kalsinasi Pada Suhu 800 °C.

Gambar diatas merupakan hasil analisa FTIR GDC Komersial dengan suhu kalsinasi 800 °C, menunjukan bahwa terdapat *peak* pada panjang gelombang 1104.55 cm^{-1} dengan % *Transmttance* 94 yang berarti pada *powder* GDC Komersial tersebut terdapat gugus C-O. Selain itu, *peak* juga muncul pada panjang gelombang 1542.95 cm^{-1} dengan % *Transmttance* 95 yang mengindikasi adanya gugus C-O dan *peak* juga muncul pada panjang gelombang 3399.37 cm^{-1} dengan % *Transmttance* 94.5 yang mengindikasi adanya gugus C-H.

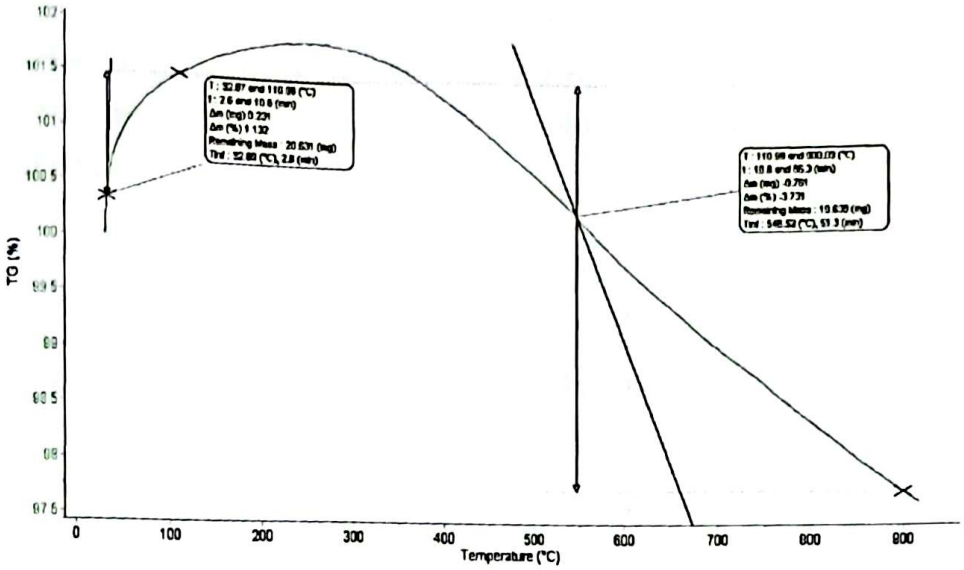
4.2.2 Hasil dan Analisa Uji TGA (ASTM E1131)

1. GDC Lokal 800 °C (*Powder*)



Gambar 4.5 Hasil Uji TGA GDC Lokal Setelah Kalsinasi Pada Suhu 800 °C.

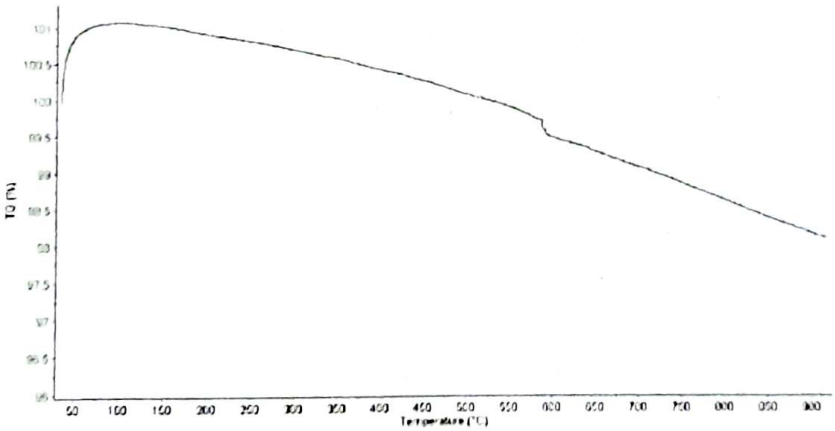
Hasil Uji TGA memberikan informasi mengenai pengurangan massa yang terjadi pada sampel terhadap perubahan temperatur yang diberikan. Hasil TGA dari GDC Lokal diukur pada rentang suhu 0-900 °C. Dari gambar terlihat bahwa pada suhu sekitar 50 °C, material mengalami kenaikan massa. Kenaikan massa ini terjadi karena proses oksidasi, yaitu interaksi bahan dengan suasana pengoksidasi, dan absorpsi, sedangkan material mengalami pengurangan massa yang terjadi pada suhu diatas 350 °C, dimana terjadi penurunan berat massa yang diakibatkan karena kehilangan air, unsur volatil dan karbon.



Gambar 4.6 Perubahan Massa GDC Lokal Setelah Kalsinasi Pada Suhu 800°C.

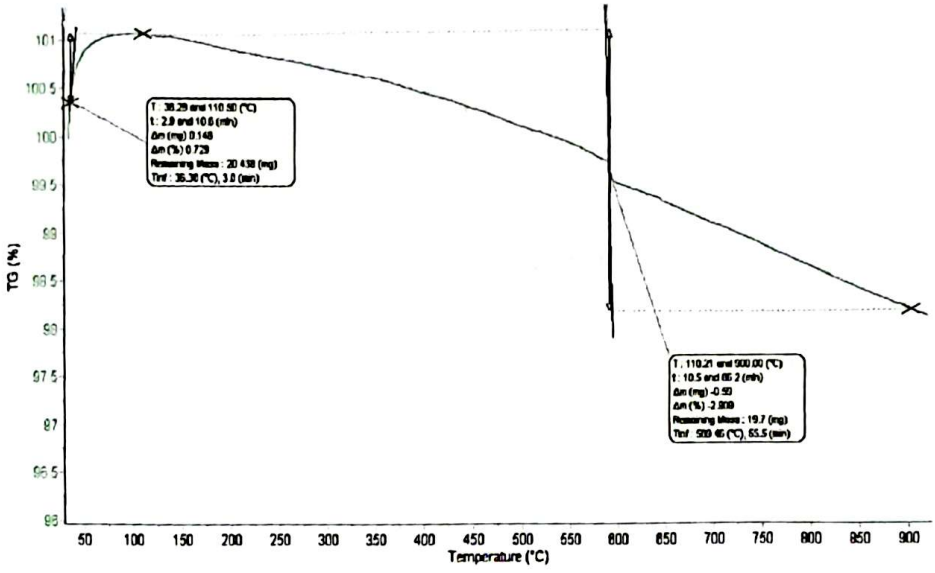
Pada awal pengujian diketahui *initial mass* = 20.631 mg, dan *remaining mass* = 19.639 mg, sehingga didapat Δm (mg)= 0.992 mg.

2. GDC Komersial 800 °C *(Powder)*



Gambar 4.7 Hasil Uji TGA GDC Komersial Setelah Kalsinasi Pada Suhu 800 °C.

Hasil TGA dari GDC Komersial diukur pada rentang suhu 0-900 °C. Dari gambar terlihat bahwa kenaikan massa terjadi pada suhu 55 °C, sedangkan pengurangan massa terjadi pada suhu diatas 100 °C. Pada suhu yang semakin tinggi, material akan semakin berkurang massanya.



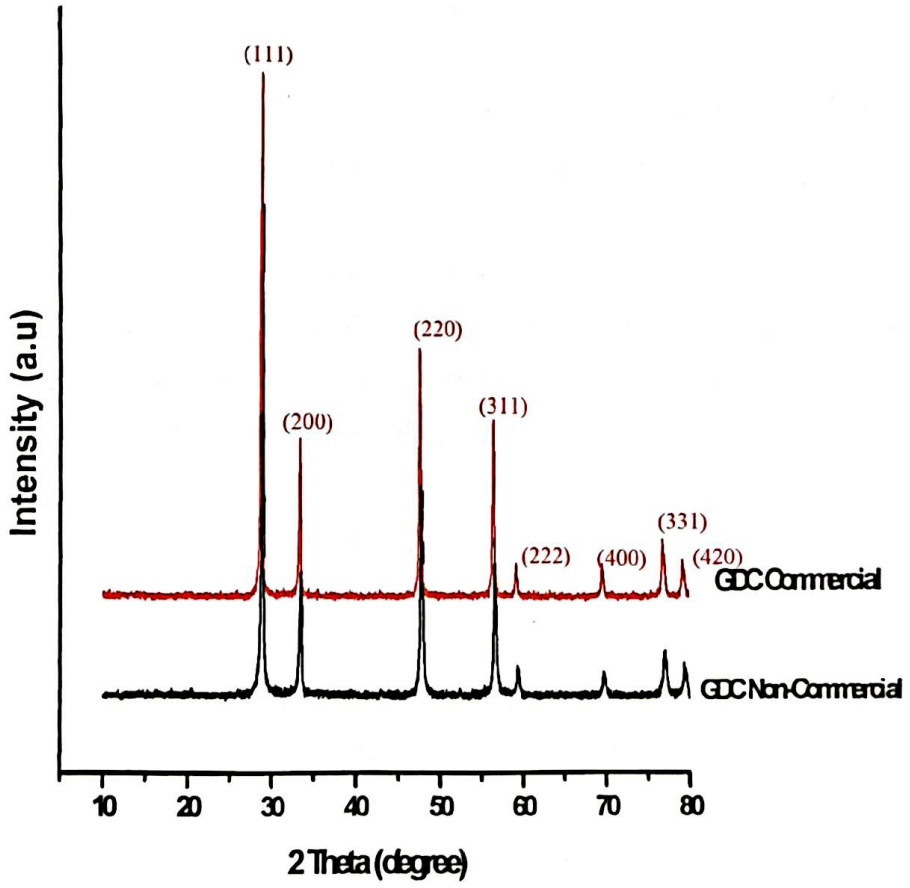
Gambar 4.8 Perubahan Massa GDC Komersial Setelah Kalsinasi Pada Suhu 800 °C.

Pada awal pengujian diketahui *initial mass* = 20.438 mg, dan *remaining mass* = 19.7 mg, sehingga didapat Δm (mg) = 0.738 mg.

Terdapat perbedaan antara hasil uji TGA pada GDC Lokal dan GDC Komersial. Saat di kalsinasi dengan suhu 800 °C, GDC Lokal mengalami kenaikan massa pada suhu 50 °C, dan mengalami penurunan massa pada suhu diatas 350 °C. Sedangkan Pada GDC Komersial mengalami kenaikan massa pada suhu 55 °C, dan mengalami penurunan massa pada suhu diatas 100°C. Kedua GDC tersebut mengalami kenaikan massa di awal grafik. Hal ini disebabkan karena perlakuan *heat treatment* saat kalsinasi, sehingga material mengalami proses oksidasi. Proses oksidasi ini menyebabkan material mengalami kenaikan massa. (Accardo, Gracia., dkk., 2016).

Dari hasil perubahan massa/Δm (mg) diketahui bahwa sampel GDC Lokal memiliki nilai perubahan massa yaitu 0.992 mg, nilai perubahan massa GDC Lokal lebih besar jika dibandingkan dengan nilai perubahan massa GDC Komersial yang hanya 0.738 mg, dimana perubahan massa yang lebih tinggi dimungkinkan karena perbedaan bahan yang digunakan. Dari hasil perubahan massa tersebut dapat disimpulkan bahwa sampel GDC komersial lebih stabil digunakan ketika dipanaskan jika dibandingkan dengan GDC Lokal yang memiliki nilai perubahan massa yang lebih besar.

4.2.3 Hasil dan Analisa Uji XRD (ASTM Philadelphia, PA, Card 34-394)



Gambar 4.9 Hasil Uji XRD GDC Komersial dan GDC Lokal Setelah Kalsinasi Pada Suhu 800 °C.

Tabel 4.1 Parameter Kisi dan Ukuran Kristal Hasil Uji XRD.

	Parameter Kisi (Å)	Ukuran Kristal (nm)
GDC Komersial	4.862 Å	29.740 nm
GDC Lokal	4.882 Å	45.024 nm

Hasil XRD dari GDC Komersial dan GDC Lokal setelah di kalsinasi pada suhu 800 °C dengan metode *solid state* terlihat pada gambar 4.9. Proses *milling* yang terjadi pada sampel GDC Komersial dan GDC Lokal membuat fasa yang terbentuk adalah *single phase*, yang berarti bahan tercampur secara homogen. Dari pengolahan data grafik dapat diketahui bahwa setiap sampel mempunyai posisi *peak* dan intensitas yang sama. Pada material yang diuji dengan alat XRD yaitu GDC Komersial dan GDC Lokal diketahui bahwa semua bidang paralel mempunyai notasi (hkl) yang sama. Sudut pengukuran dilakukan dari 15-80°. Secara detail puncak-puncak difraksi muncul pada sudut (2θ) 28°, 47°, dan 56° masing-masing pada bidang refleksi (111), (220) dan (311).

Metode yang sering digunakan untuk menentukan ukuran kristal adalah metode Scherrer (Abdullah & Khairurrijal, 2009). Berdasarkan pada tabel 4.1 menunjukkan bahwa tiga puncak yang muncul secara jelas pada 2θ yaitu :

- GDC Komersial : 28.795°, 47.743°, dan 56.603° secara berurutan menunjukkan bidang kristal (111), (220), dan (311).
- GDC Lokal : 28.645°, 47.582°, dan 56.441° secara berurutan menunjukkan bidang kristal (111), (220), dan (311).

Ukuran kristal yang terbentuk menunjukkan bahwa ukuran kristal dari GDC Lokal sebesar 45.024 nm yaitu lebih besar daripada GDC Komersial yaitu 29.740 nm. Hal tersebut menunjukkan CeO_2 komersial memiliki kemurnian yang lebih tinggi daripada CeO_2 lokal. Semakin kecil ukuran kristal maka semakin besar konduktivitas ionik (Raharjo, *et al.*, 2017), sehingga GDC Komersial memiliki konduktivitas ionik yang lebih tinggi dibandingkan dengan GDC Lokal.

4.2.4 Hasil dan Analisa Uji Densitas

4.2.4.1 Analisa Densitas Dengan Hukum Archimedes (ASTM, 1972)

Pengukuran densitas pelaksanaannya mengacu pada standar ASTM C. 373-72 dengan prosedur kerja untuk menentukan besarnya densitas relatif (g/cm^3) dengan Hukum Archimedes.

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

$$\rho = \frac{(Ms) - (Mk)}{Densitas\ air} \times 100\%$$

Tabel 4.2 Hasil Uji Densitas *Pellet* GDC.

***Pellet* GDC Komersial 800 °C**	***Pellet* GDC Lokal 800 °C**
99,9499 % (g/cm^3)	91,73 % (g/cm^3)

4.2.4.2 Analisa Hasil Uji Densitas GDC Komersial & GDC Lokal 800 °C

Hasil pengujian densitas *pellet* Elektrolit GDC Komersial 800 °C menunjukkan densitas yaitu 99,9499 % dan hasilnya diatas 95 % yang berarti *pellet* telah memenuhi syarat elektrolit untuk SOFC. Elektrolit perlu memiliki kepadatan diatas 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, H.P, *et al.*, 2010). Hasil uji densitas menunjukkan bahwa *powder* elektrolit

GDC komersial yang di kalsinasi pada temperatur 800 °C dapat meningkatkan densitas ketika dijadikan *pellet* dan disintering.

Hasil pengujian densitas *pellet* elektrolit GDC lokal 800 °C menunjukkan densitas yaitu 91,73 % dan hasilnya dibawah 95 % yang berarti *pellet* tidak memenuhi syarat elektrolit untuk SOFC. Hal ini disebabkan karena CeO_2 lokal yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan elektrolit GDC lokal hanya memiliki impuritas 80 % sedangkan CeO_2 komersial memiliki impuritas 99,99 %.

Terdapat perbedaan hasil densitas pada GDC Lokal dan GDC Komersial, selain karena impuritas dari CeO_2 lokal dan CeO_2 komersial yang berbeda, juga disebabkan karena perlakuannya berbeda pada saat dibuat menjadi *pellet*, dimana penggunaan *acrysol* untuk GDC lokal yaitu 1 g, dan pada GDC komersial yaitu 0,8 g. Sedangkan pada saat di kompaksi, GDC lokal dengan tekanan 1 ton, dan GDC komersial dengan tekanan 3 ton. Penggunaan *acrysol* pada GDC lokal lebih banyak daripada GDC komersial, dan tekanan yang diberikan pada GDC lokal lebih kecil daripada GDC komersial, dikarenakan GDC lokal seringkali retak setelah di kompaksi maupun di kalsinasi. Oleh sebab itu, pada penelitian ini kami mencoba untuk membuat formulasi yang tepat dan melakukan optimasi terhadap elektrolit GDC lokal guna menghasilkan elektrolit GDC lokal yang hasilnya baik dan tidak retak pada saat di kompaksi maupun di kalsinasi.

4.2.5 Syarat Elektrolit Berdasarkan Hasil Pengujian

Tabel 4.3 Syarat Elektrolit

Syarat Elektrolit	GDC (K)	GDC (L)	Alasan
Konduktivitas Ionik	Tinggi	Rendah	Semakin kecil ukuran kristal maka semakin besar konduktivitas ionik suatu elektrolit (Raharjo, *et al.*, 2007).
Struktur	Padat (> 95%)	Padat (< 95%)	Elektrolit perlu memiliki kepadatan diatas 95 %, hal ini untuk mencegah porositas terbuka sehingga gas yang digunakan sebagai reaktan tidak mengalami perpindahan dari anoda ke katoda dan sebaliknya (Dasari, H.P, *et al.*, 2010).
Stabilitas Termal	Baik	Kurang Baik	Semakin besar nilai perubahan massa yang hilang mengindikasikan bahwa senyawa tersebut tidak stabil digunakan ketika dipanaskan (Blank, et al., 2008).

BAB V

KESIMPULAN & SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Telah dihasilkan elektrolit GDC baik dalam bentuk *powder* maupun *pellet* melalui sintesis dengan metode *solid state.*
2. Karakterisasi Elektrolit GDC *(Powder)* :
   a. Pada pengujian FTIR diperoleh karakteristik GDC Lokal dengan kalsinasi pada suhu 800 °C, yaitu bahwa *peak* muncul pada panjang gelombang 1056.45 cm^{-1}, 1097.07 cm^{-1}, dan 2980.37 cm^{-1} yang berarti pada material tersebut mengandung gugus C-O, C-O, dan C-H. Pada GDC Komersial dengan kalsinasi pada suhu 800 °C, diperoleh bahwa *peak* muncul pada panjang gelombang 1104.55 cm^{-1}, 1542.95 cm^{-1}, dan 3399.37 cm^{-1} yang berarti pada material tersebut mengandung gugus C-O, C-O, dan C-H.
   b. Pada pengujian TGA, untuk GDC Lokal dan GDC Komersial dengan kalsinasi pada suhu 800 °C diperoleh karakteristik bahwa terdapat perbedaan gambar TGA yang menunjukkan bahwa GDC Lokal mengalami kenaikan massa pada suhu 50 °C, dan mengalami penurunan massa pada suhu diatas 350 °C. Pada GDC Komersial mengalami kenaikan massa pada suhu 55 °C , dan mengalami penurunan massa yang pada suhu diatas 100°C. Berdasarkan perhitungan perubahan massa yang terjadi, perubahan massa pada GDC lokal = 0.992 mg dan GDC komersial = 0,738 mg, disimpulakan bahwa perubahan massa pada GDC lokal lebih besar daripada GDC komersial, yang mengindikasikan bahwa GDC komersial lebih stabil digunakan ketika dipanaskan pada suhu kalsinasi 800 °C.
   c. Dari hasil uji XRD diketahui bahwa setiap sampel GDC Komersial dan GDC Lokal setelah di kalsinasi pada suhu 800 °C, masing-masing

mempunyai posisi *peak* dan intensitas yang sama, yaitu puncak-puncak difraksi muncul pada sudut (2θ) 28°, 47°, dan 56° masing-masing pada bidang refleksi (111), (220) dan (311). Ukuran kristal dari GDC Lokal yaitu sebesar 45.024 nm lebih besar daripada GDC Komersial yaitu 29.740 nm.

3. Karakterisasi Elektrolit GDC *(Pellet)* :

Hasil pengujian densitas *pellet* menunjukkan bahwa elektrolit GDC Komersial yaitu sebesar 99.9499%, sedangkan GDC Lokal sebesar 91,73%, mengingat syarat elektrolit untuk SOFC yaitu 95%, maka elektrolit GDC Komersial yang memenuhi syarat elektrolit untuk aplikasi SOFC. Perbedaan hasil densitas pada GDC Lokal dan GDC Komersial, selain karena impuritas dari CeO_2 lokal dan CeO_2 komersial yang berbeda, juga disebabkan karena perlakuannya berbeda pada saat dibuat menjadi *pellet*, dimana penggunaan *acrysol* untuk GDC lokal yaitu 1 g, dan pada GDC komersial yaitu 0,8 g, dan pada saat di kompaksi, GDC lokal dengan tekanan 1 ton, dan GDC komersial dengan tekanan 3 ton. Perbedaan tersebut disebabkan GDC lokal seringkali retak setelah di kompaksi maupun di kalsinasi. Oleh sebab itu, pada penelitian ini kami mencoba untuk membuat formulasi yang tepat atau melakukan optimasi terhadap elektrolit GDC lokal guna menghasilkan elektrolit GDC lokal yang hasilnya baik dan tidak retak pada saat di kompaksi maupun di kalsinasi.

4. Berdasarkan hasil karakterisasi elektrolit GDC Lokal dan GDC Komersial, baik dalam bentuk *powder* maupun *pellet* dapat disimpulkan bahwa GDC Komersial telah memenuhi syarat elektrolit yang baik untuk aplikasi SOFC, karena stabil digunakan ketika dipanaskan pada suhu kalsinasi 800°C, memiliki konduktivitas ionik yang tinggi, dan memenuhi syarat kepadatan lebih dari 95%, sedangkan untuk elektrolit GDC Lokal tidak stabil digunakan ketika dipanaskan pada suhu kalsinasi 800 °C, memiliki nilai perubahan massa yang lebih besar daripada GDC Komersial, memiliki

konduktivitas ionik yang rendah, dan belum memenuhi syarat kepadatan karena kurang dari 95%.

5.2 Saran

1. Mengingat dalam penelitian ini kami belum dilakukan karakteristik pengujian untuk mengetahui karakteristik optimal dari materi yang diuji, maka kami menyarankan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui struktur morfologi partikel dengan uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM), mengetahui sifat elektrokimia dari material tersebut dengan uji *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS), dan untuk menentukan ukuran dan distribusi partikel dari sampel yang respresentatif dengan uji *Particle Size Analyzer* (PSA).
2. Dari hasil penelitian kami, hasil uji untuk GDC lokal belum memenuhi syarat sebagai elektrolit yang baik. Untuk itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk pembuatan elektrolit GDC lokal yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, M & Khairurrijal,. 2009. Review : Karakterisasi Nanomaterial. Nano Saintek. Vol. 2, No.1.

Abdullah, M., Khairurrijal, Nurhasanah, L., Sriyanti, L., dan Marully, A.R., 2009. Nanopartikel Ceria yang Didop Neodinium Untuk Aplikasi *Solid Oxide Fuel Cell* (SOFC), Jurnal Nanosains & Nanoteknologi, Vol. 2, No.1.

Anonim, 2014. Sejarah Logam Tanah Jarang. (http://id.wikipedia.org/wiki/Sejarah-Logam-Tanah-Jarang). Diakses tanggal 5 September 2014. Jakarta.

Arianti, Myrna., 2011. *Slide Thermal Analysis*. Karakterisasi Material 2. Departemen Metalurgi UI.

Arherthon, T., Baron, M.G., Croxton, R., Jimenez, R., 2010. *The Forensic Analysis of Soil by FTIR with Multivariate Analysis*, 1-5.

ASTM., 1972. *Standard Test Method For Compositional Analysis by Density Designation* : C.373-72.

ASTM., 2012. *Standard Test Method For Compositional Analysis by Thermogravimetry Designation* : E1131-08.

ASTM., 2012. *Standard Test Method For Compositional Analysis by Fourier Transform Infra Red Designation* : A573.

ASTM., 2010. *Standard Test Method For Compositional Analysis by X-Ray Diffraction Designation* : Philadelphia, PA, Card 34-394.

Aydin, Fatma., Ibrahim, Demir., Mahmut D.M., 2014. *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.

Blank, Boukamp, Winnubst, Hildenbrand., 2008. *Development of Gadolinia Doped Ceria Electrolyte for IT-SOFC.* Faculty of Science and Technology University of Twente.

Brett, D.J.L., Atkinson, A., Brandon, N.P., Skinner, S.J., 2008. *Intermediet Temperature Solid Oxide Fuel Cells", Chemical Society Reviews.* Vol. 37, p. 1568-1578.

Cheng, Zhe, Wang, Jeng-Han, Liu, Meilin., 2009. *Solid Oxide Fuel Cell Materials Properties and Performance.* CRC Press. USA.

Chung, K. H., Lee, J., Rodriguez, R., & Lavernia, E. J., 2002. *Metal Matter Transition.*

Dasari, H.P., Son, J.W., Lee, J.T., 2010. *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.

De Guire, T. P. Niesen, M. R., 2002. *Review : Deposition Of Ceramic Thin Films At Low Temperatures From Aqueous Solutions.* Solid State Ionics, 151,61-68.

Diana, N. F., 2010. Simulasi dengan Metode Monte Carlo untuk Proses Pembuatan Nanomaterial menggunakan *Ball Mill.* Skripsi. Universitas Indonesia. Depok.

EG&G Technical Services, Inc., 2004. *Fuel Cell Handbook (Seventh Edition).*

Fayed, M.E., and Otten, L. 1997. *Handbook Of Powder Science and Technology.* 2nd Edition, Chapman and Hall – ITP, New York.

Fuentes, R.O., Baker, R.T., 2008. *Synthesis and Properties of Gadolinium-doped Ceria Solid Solutions for IT-SOFC Electrolytes.* International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 33, p. 3480-3484.

German, Randall M., 1991. *Fundamentals of sintering.* ASM International, Engineered Materials Handbook. 4, p. 260-269.

German, Randall M., 1994. *Powder Metallurgy Science.* Metal Powder Industries Federation, New Jersey.

Giwangkara S, E.G., 2006. Aplikasi Logika Syaraf Fuzzy pada Analisis Sidik Jari Minyak Bumi Menggunakan FTIR. Sekolah Tinggi Energi dan Mineral. Cepu, Jawa Tengah.

Grffiths, P.R., 1975. *Chemical Infrared Fourier Transform 43.* John Willey & SMS, Toronto.

Hamdila, J.D. 2012. Pengaruh Variasi Massa Terhadap Karakteristik Fungsionalitas dan Termal Komposit MgO-SiO_2 Berbasis Silika Sekam

Padi Sebagai Katalis. Skripsi. Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Hasan, Achmad., 2007. *Aplikasi Sistem Fuel Cell* Sebagai Energi Ramah Lingkungan di Sektor Transportasi dan Pembangkit. Jurusan Teknologi Lingkungan, Vol.3 No.3 Hal. 277-286.

Ismunandar, 2006. Padatan Oksida Logam: Struktur Sintesis dan Sifat-sifatnya. Institut Teknologi Bandung, Bandung.

Jacobson, Allan. J., 2013. *Materials for Solid Oxide Fuel Cells.* Chemistry of Materials Review, Vol.22, p. 660-674.

James, S. R., John Wiley & Son. 1988. *Introduction to The Principles Of Ceramics Processing.* Inc. Singapore.

Jiang, S.P., Li, Jian., Jeffrey W. Fergus (Eds), 2009. *Solid Oxide Fuel Cell Materials Properties and Performance.* CRC Press, USA.

Kuphaldt, Tony R., 2010. *Lessons In Industrial Instrumentation.* Creative Commons Attribution, USA.

Mawardani, Putri., 2014. Pengaruh Kemurnian Bahan Baku Terhadap Temperatur Sintering dan Karakteristik Keramik Alumina. Skripsi. Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.

Nanjwade, Basavaraj K., 2017. *Thermal Analysis.* http://slideplayer.com/slide/5844714/., Diakses tanggal 05 Juli 2017.

Nugraha, F.E, 2008. Optimasi Pemecahan Emulsi Air dalam Pelumas Bekas Menggunakan Campuran Larutan NaCl-Etanol. Skripsi. Fakultas Matermatika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Bandung, Bandung.

Ormerod, R M., 2003. *Solid oxide fuel cells.* Chem Soc Rev 32 (1).

Payne, D. J., Gwynn, M. N., Holmes, D. J., & Pompliano, D. L., 2007. *Drugs for bad bugs: confronting the challenges of antibacterial discovery.* Nature Reviews Drug Discovery, 6(1), 29–40. http://doi.org/10.1038/nrd2201.

Perkin, Elmer., 2010. *Thermogravimetric Analysis* (TGA). USA : Perkin Elmer, Inc.

Raharjo, Jarot., Dedikarni., & W.R.W. Daud, 2007. Perkembangan Teknologi Material Pada Sel Bahan Bakar Padat Suhu Operasi Menengah. Jurnal Sains

Materi Indonesia,Vol. 10, Issue 1, p. 28-34.

Rahameru, *Armini*, 2009. *Pengenalan Unsur dan Sifat-Sifat Cerium.* (http://www.chemistry.org/materi-kimia/instrumen-analisis/pengenalan-unsur- dan- sifat-sifat-cerium). Akses tanggal 5 September 2009. Jakarta.

Rais, Muhammad., 2007. Studi Analisa Simulasi Tentang Korelasi Suhu Sintering dan Presentase Aditif Mulit Dengan Sifat Mekanik Alumina. Skripsi. Universitas Sumatera Utara.

Ristic, N.M. 1989. *New Development Sintering.* Elsevier Publishing. Netherland. Vol. 4, pp. 3-7.

S.Yasmin, S. Choudhury, M.A. Hakim, A.H Bhuiyan, dan M.J. Rahman. Structural., 2011. *Dielectric Properties of Pure and Cerium Doped Barium Titanate.* Journal of Ceramic Processing Research, Vol. 12, 2011, pp. 387-391.

Sammes, N.M., 2006. *Fuel Cell Technology Reaching Towards Commercialization.* Springer. London.

Sartono, A.A., Difraksi sinar-X (XRD). 2006. Tugas Akhir Mata Kuliah Proyek Laboratorium Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/xray-diffraction/singlecrystal.php.

Sorrell, C.C., J. Nowotny., S. Sugihara., 2005. *Materials for Energy Conversion Devices.* Woodhead Publishing, USA.

Sriyanti I., Abdullah M., 2009. Sintesis Nanopartikel Nd-CeO_2 Menggunakan Metode *Simple Heating* Untuk Aplikasi *Solid Oxide Fuel Cell* (SOFC). Jurnal Natur Indonesia,Vol. 12 (1), p. 1-8.

Subekti, Daniel., 2011. 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.

Suhada, Hendrata., 2001. *Fuel Cell* Sebagai Penghasil Energi Abad 21. Jurnal Teknik Mesin, Vol.3, No.2, p. 92-100, Oktober 2001.

Sunandar., 2006. Penguatan Fotokonduktivitas Berbasis Bahan Ferroelektrik $Ba_{0,6}Sr_{0,4}TiO_3$ yang Didadah Tantalum Pentoksida (BSTT) diatas Substrat Si (100) *Type*-p dan Substrat TCO *Type*-705. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.

Tahid., 1994. Spektroskopi Inframerah Transform Fourier No.II Th VIII. Warta Kimia Amalitis, Bandung.

Teresa Outeiro, M., & Carvatho, A., 2013. *Methodology of Designing Power Converters for Fuel Cell Based Systems: A Resonant Approach*. Under CC BY 3.0 Liscense. http://doi.org/10.5772/54674.

Tian, C., Ji, B., Xie, J., Bao, W., Liu, K., Cheng, J., & Yin, Q., 2014. *Preparation and characterization of Ce0.8La0.2–xYxO1.9 as electrolyte for solid oxide fuel cells*. Journal of Rare Earths, 32(12), 1162–1169.

Wang, S., Kobayashi, T., Dokiya, M., & Hashimoto, T. 2000. *Electrical and ionic conductivity of Gd-doped Ceria.*

Wiberg, Egon., Wiberg, Nils., Holleman, Arnold Frederick. 2001. *Inorganic Chemistry*. Academic Press. P. 240. ISBN 0123526515.

Widjanarko, S.B., dan Suwasito, T.S., 2014. Pengaruh lama Penggilingan Tepung Porang dengan Metode *Ball Mill* Terhadap Rendemen dan Kemampuan Hidrasi Tepung Porang *(Amorphophallus muelleri Blume)*. Jurnal Pangan dan Agroindustri 2 (1) :79-85.

Winter, M., Brodd, R.J., 2004. *What Are Batteries, Fuel Cells, and Supercapasitors?*. Chemical Reviews, Vol. 104, Issue 10, p. 4245-4270.

Xia, C., Li, Y., Tian, Y., Liu, Q., Wang, Z., Jia, L., ... Li, Y., 2010. *Intermediate temperature fuel cell with a doped ceria–carbonate composite electrolyte*. Journal of Power Sources, 195(10), 3149–3154. http://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2009.11.104.

Xu, Y. Gao, H.Q. Liu., 2002. *The Preparation, Characterization, and their Photocatalytic Activities of Rare-Earth-Doped TiO_2 Nanoparticles*. Journal. of Catalysis 2 (3) : 80-82.

Zhu, B., 2006. *Next Generation Fuel Cell R&D*. International Journal of Energy Research, Vol. 30, p. 895-903.