

PEMBUATAN $\text{La}_{0,8}\text{Ca}_{0,2}\text{MnO}_3$ SEBAGAI KATODA PADA SOLID OXIDE FUEL CELL (SOFC) DAN KARAKTERISASINYA

The Making of $\text{La}_{0,8}\text{Ca}_{0,2}\text{MnO}_3$ as A Cathode on Solid Oxide Fuel Cell and Its Characterization

Riska Ekawita¹

ABSTRACT

The making of $\text{La}_{0,8}\text{CaMnO}_3$ cathode material of solid oxide fuel cell from lanthanum oxide (La_2O_3), calcium oxide (CaO), and manganese carbonate hydrate ($\text{MnCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) has been done using tape casting method. Time of firing the $\text{La}_{0,8}\text{Ca}_{0,2}\text{MnO}_3$ varied. The values of $t = 30$ minutes, 60 minutes and 120 minutes. Microstructure of these materials was analyzed and characterized by means of their electric conductivity, XRD (x ray diffraction) and SEM (scanning electron microscope). It is found that formulated micro structure is orthorhombic. The result of measurement shows that density is in linear (positive) correlation with increasing of holding time of firing, porosity and coefficient of thermal expansion is negatively correlated with density and electric conductivity is in linear (positive) correlation with increase density.

Keyword: solid oxide fuel cell, time of firing, density and porosity, electric conductivity

Diterima: 26 Pebruari 2007; Disetujui: 13 Mei 2007

PENDAHULUAN

Dalam kemajuan teknologi khususnya pembuatan *fuel cell* ternyata telah berkembang menjadi salah satu sumber energi yang banyak mempunyai keunggulan dibandingkan dengan sistem energi lain seperti batubara, dan minyak bumi. Penelitian dan pengembangan *fuel cell* sebenarnya sudah dan sedang dicari yang terbaik diberbagai negara maju. Pengembangan *fuel cell* karena meningkatnya kesadaran makin terbatasnya sumber energi konvensional, kesadaran masalah pelestarian lingkungan dan keunggulan dan kemampuan sistem *fuel cell* itu sendiri yaitu konversi energi yang tinggi, ramah

lingkungan, ukuran mudah disesuaikan, mudah dipasang dan dipindahkan, bahan bakar melimpah dan sebagainya.

Fuel cell atau sel bahan bakar adalah sebuah piranti elektrokimia yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik secara kontinu (Minh dan Takahashi,1995). *Fuel cell* ini diperkenalkan oleh Sir William Groove pada tahun 1839 (De Guire,2003). Pada sebuah baterai biasa, energi kimia yang diubah oleh sebuah sel adalah tetap. Jika bahan bakar (*fuel*) dan oksidan di baterai telah habis, maka baterai tersebut harus diganti atau diisi ulang (*recharge*). Perbedaan mendasar sebuah sel bahan bakar dengan baterai biasa ditentukan oleh persediaan bahan bakar (oksidan)

¹ Departmen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Bengkulu

di dalam sel. Pada sel bahan bakar , energi dipasok terus menerus, hal ini tidak ubahnya dengan sebuah mesin yang memerlukan bahan bakar untuk mengubah energi kimia menjadi energi mekanik (Suhardiman,2000).

Seiring kemajuan zaman, *fuel cell* dapat merupakan sumber tenaga dari ratusan watt hingga megawatt untuk kepentingan komunikasi dan kepentingan industri. Beberapa sistim *fuel cell* telah digunakan sebagai tenaga alternatif kapal selam dan ada juga untuk proyek luar angkasa.

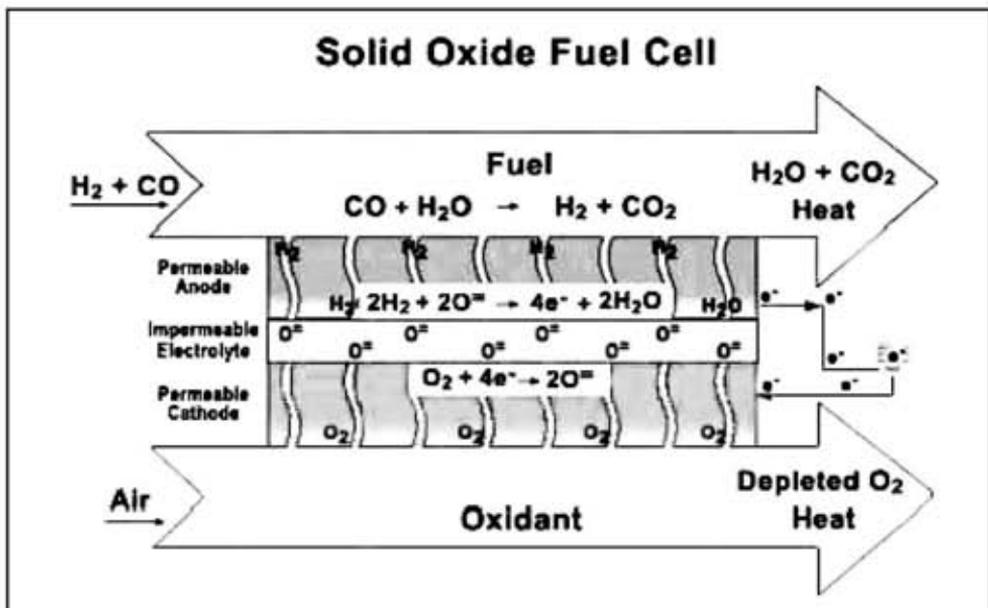
Solid oxide fuel cell (SOFC) atau sel bahan bakar oksida padat adalah sel bahan bakar yang menggunakan oksida padat atau jenis keramik sebagai elektrolitnya (Minh dan Takahashi,1995). Dengan elektrolit yang padat, tidak akan menimbulkan korosi pada elektrodanya, seperti umumnya terjadi pada *fuel cell* lain. Syarat utama yang harus dimiliki untuk material ini adalah harus stabil pada suhu tinggi.

Secara teoritis cara kerja *fuel cell* sebagai berikut (Gambar 1): sebuah

molekul oksigen bergerak sepanjang katoda yang berpori menuju *junction* (sambungan).Ketika molekul oksigen berinteraksi dengan katoda, dan mengambil elektron menjadi ion oksigen. Ion oksigen ini bergerak ke dalam elektrolit dan meninggalkan muatan positif pada katoda. Ion-ion ini bergerak di dalam elektrolit menuju elektroda satunya anoda yang juga berpori. Ion oksigen bertemu bahan bakar pada anoda dan terjadi reaksi yang menghasilkan moleku air, karbondiosida dan yang terpenting elektron. Elektron berpindah sepanjang anoda ke rangkaian luar dan kembali ke katoda serta memberikan sumber energi listrik pada rangkaian luar tersebut. (De Guire,2003).

Adapun manfaat penelitian ini adalah memberikan masukan untuk pengembangan produk SOFC selanjutnya dan menjadikan SOFC sebagai salah satu alternatif sumber energi baru.

Katoda $\text{La}_{0,8}\text{Ca}_{0,2}\text{MnO}_3$ dari *lanthanum oxide* (La_2O_3), *calcium oxide* (CaO), dan *manganese carbonat hydrate*



Gambar 1. Mekanisme kerja SOFC

($MnCO_3 \cdot xH_2O$). Katoda yang dibentuk hampir sama dengan anoda yaitu mempunyai porositas agar bisa melewati oksidannya. Pada umumnya material yang digunakan termasuk pada semikonduktor jenis p (Larminie dan Dicks, 2001).

Dalam penelitian ini mencoba untuk melakukan pembuatan katoda *solid oxide fuel cell* dan karakterisasinya untuk memberikan masukan pengembangan produk SOFC selanjutnya dan menjadikan SOFC sebagai salah satu alternatif sumber energi baru.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pembuatan katoda $La_{0,8}Ca_{0,2}MnO_3$ dan pengaruh waktu pembakaran terhadap karakterisasinya dan mengetahui sifat-sifat bahan katoda yang dibuat.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Keramik Pusat Penelitian Fisika (P2F), Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Serpong-Tangerang. Penelitian berlangsung selama 4 bulan dari Maret – Juli 2004.

Bahan-bahan yang digunakan adalah: *Lanthanum (III) Oxide*, La_2O_3 (dari merk KgaA 64271, Darmstadt, Germany, kemurnian 99,5%), *Manganese II Carbonate Hydrate p.a.*, $MnCO_3 \cdot xH_2O$ (dari E. Merk KgaA 64271 Darmstadt, Germany, kemurniannya 43-46 %), *Calcium Oxide Frommable*, CaO (dari merk 64271 Darmstadt, Germany, kemurniannya 97%), Binder Celuna WE-518, Dispersant Celuna D-305, *Aquadest* (air), Oli.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah: *Mortal agate*, *Beaker* gelas dan peralatannya, Neraca Analitis merk Sartorius, *Oven* pengering, Tungku Suhu Tinggi (*high temperature furnace*), Cetakan dengan berbagai bentuk dan ukuran sesuai dengan kebutuhan, Ayakan

merk Retasch (170 mesh), Cawan-cawan porselin, *Magnetik stirrer*, Pipet ukur, Jangka sorong, XRD, *Multimeter digital*, Dilatometer.

Bahan dasar yang digunakan dalam penelitian ini ada tiga: La_2O_3 , CaO dan $MnCO_3 \cdot xH_2O$. Bahan ini akan digunakan untuk pembuatan katoda *fuel cell* $La_{0,8}Ca_{0,2}MnO_3$. Penentuan jumlah bahan yang digunakan tergantung dari seberapa banyak $La_{0,8}Ca_{0,2}MnO_3$ yang akan dibuat dan dengan menggunakan perhitungan stoikiometri. Bahan-bahan tersebut ditimbang dengan menggunakan neraca analitis digital.

Pada Gambar 2 berikut, merupakan langkah-langkah penelitian yang diuraikan sebagai berikut. Setelah bahan dasar ditimbang, kemudian ketiga bahan tersebut dicampur di dalam satu *beaker* gelas dan ditambah dengan aquades sampai menjadi encer sehingga mudah diaduk dengan *magnetik stirrer*. Hal ini dilakukan selama 3 jam.

Pengeringan dilakukan setelah air yang terdapat pada bahan dasar tadi menguap (campuran telah berbentuk pasta). Penguapan air dilakukan dengan menggunakan *hot plate*. Setelah itu dimasukkan ke dalam oven dengan suhu $100^\circ C$ selama 24 jam atau sampai kering. Dan jika ditimbang sama massa semula. Kemudian digerus dengan menggunakan *mortal agate*.

Kalsinasi adalah proses pembakaran yang menghasilkan bahan dalam bentuk oksida, dan juga menghilangkan bahan-bahan yang tidak diinginkan seperti H_2O , CO_2 dan lain-lain. Kalsinasi dilakukan pada suhu yang tinggi tergantung dari jenis bahan yang digunakan dan untuk bahan jenis ini suhu kalsinasi yang dipakai adalah $1100^\circ C$. Suhu ini dipertahankan selama 1 jam (waktu pembakaran). Kalsinasi dilakukan dengan menggunakan tungku pemanas (*furnace*). Bahan diletakkan di dalam cawan porselin. Lama proses kalsinasi ini sekitar 8 jam (3,5 jam untuk mencapai suhu

1100°C, 1 jam waktu pembakaran dan 3,5 jam untuk mencapai suhu ruang kembali).

Setelah bahan yang telah dikalsinasi mengeras, kemudian dilakukan penggerusan sebelum tahap pengayakan. Penggerusan ini juga menggunakan *mortal agate* agar serbuk tersebut lebih mudah diayak. Pengayakan dilakukan untuk mendapatkan partikel yang halus. Pada pengayakan ini

digunakan ayakan dengan ukuran 170 mesh.

Tape casting merupakan salah satu metoda pembentukan keramik. Bahan yang telah diayak tadi kemudian dibentuk atau dicetak dengan bentuk dan ukuran yang dibutuhkan. Bentuk dan ukuran tersebut bervariasi, tergantung dari analisa yang akan dilakukan terhadap sampel tersebut.

Dalam langkah pencetakan ini, dipergunakan beberapa macam peralatan dan zat aditif. Metoda *tape casting* ditandai dengan terbentuknya adonan (campuran) berbentuk *slurry*. Dan dibutuhkan zat aditif yang dapat membentuk *slurry*. Zat aditif yang dipakai pada penelitian ini adalah celuna, yaitu celuna WE-518 yang berperan sebagai *binder* (pembentuk pori) dan celuna D-305 sebagai *dispersan* (perekat). Pemakaian serbuk dan air dapat disesuaikan. Masa jenis celuna WE-518 adalah 1,1709 g/cm³ dan celuna D-305 1,3443 g/cm³.

Syarat bahan sebagai *binder* adalah harus dapat memberikan kekuatan dan kerapatan yang tinggi setelah dicetak, harus terbakar sempurna dari bahan sesudah dibakar dan sebagai pembentuk pori.

Bahan yang telah dicetak tadi dibiarkan sampai kering. Pengeringan dilakukan secara alami, biasanya selama 7 hari. Untuk mengetahui bahan tersebut sudah kering dilakukan dengan penimbangan sampai tidak terjadi lagi perubahan massa (massa stabil).

Pembakaran yang dilakukan setelah *tape casting* bertujuan untuk memadatkan butiran sehingga dihasilkan bahan yang kuat dan padat. Pembakaran ini dilakukan pada suhu 1100°C dengan waktu pembakaran 30 menit, 60 menit dan 120 menit.

Karakterisasi Sampel

Pengukuran porositas dan densitas dilakukan untuk mengetahui apakah



Gambar 2. Diagram Alir

Tabel 1. Porositas dan Densitas

Waktu pembakaran (menit)	Sampel	Porositas (%)	Densitas (g/cm ³)
30	A	37,3341	4,0359
	B	37,1900	4,0532
60	A	35,3889	4,2795
	B	35,3628	4,2086
120	A	30,9146	4,2495
	B	30,4951	4,3123

Tabel 2. Nilai Koefisien Ekspansi Termal

Sampel	Koefisien ekspansi termal (°C ⁻¹)
A (waktu pembakaran dipertahankan 30 menit)	9,5335 x 10 ⁻⁵
B (waktu pembakaran dipertahankan 60 menit)	8,397 x 10 ⁻⁵
C (waktu pembakaran dipertahankan 120 menit)	7,9545 x 10 ⁻⁵

sampel yang dibuat telah memenuhi syarat sebagai bahan katoda atau belum. Pengukuran konduktivitas listrik dilakukan mulai suhu ruang (27 °C) sampai 800 °C dengan multimeter *digital*.

Pengukuran koefisien ekspansi termal dilakukan dengan alat dilatometer. Sebelum sampel yang berbentuk persegi panjang diletakkan dalam alat ini, sampel harus diampelas terlebih dahulu, agar setiap perubahan panjang pada saat pemanasan dalam dilatometer dapat terdeteksi dan tergambar pada grafik. Sebelum mengoperasikan alat ini, ditentukan terlebih dahulu penguatan (*gain*) dan koreksi terhadap alat. Setiap perubahan suhu yang terjadi, mulai dari suhu ruang sampai 1000°C akan terbaca secara *digital*, dan perubahan panjang dari sampel akan terlihat pada grafik yang dihasilkannya.

Analisa XRD dilakukan pada sampel 1 (suhu pembakaran 1100°C dengan waktu pembakaran dipertahankan 30 menit).

1. Dari Gambar hasil XRD, diamati puncak-puncak tertinggi dari difraksinya, yang mempunyai besar sudut 2θ .

2. Puncak tertinggi ini menjadi intensitas tertinggi
3. Dihitung besar sudut 2θ dari tiap puncak dan intensitasnya, kemudian dapat ditentukan nilai d (jarak antar bidang kristal).
4. Dengan nilai d dan intensitasnya dapat ditentukan fasa yang terbentuk. Penentuan fasa ini menggunakan standar yang sudah ada yaitu data kartu JCPDS (*Joint Commite on Powder Diffraction Standard*) atau kartu *Hanawalt*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam pengukuran porositas dan densitas sampel katoda ini dilakukan 3 kali pengukuran dengan membedakan waktu pembakaran pada masing-masing sampel, ditunjukkan pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil yang diperoleh, bahwa nilai porositas semakin menurun jika waktu pembakaran dinaikkan. Sedangkan untuk densitas, akan naik dengan pertambahan waktu pembakaran. Jika waktu pembakaran pada suhu 1100°C lebih dinaikkan lagi, standar

komponen katoda pada SOFC tidak akan terpenuhi. Batas standar porositas katoda SOFC yaitu dengan 30% - 40%. Pada suhu 1100°C waktu pembakaran yang dipertahankan 2 jam, sampel telah mencapai batas porositas minimum 30,704% untuk katoda SOFC.

Data dan perhitungan yang diperoleh dari pengukuran dengan alat Dilatometer adalah pada Tabel 2.

Pengukuran koefisien ekspansi termal dilakukan untuk mengetahui berapa nilai koefisien ekspansi termal bahan. Peningkatan densitas yang terjadi di dalam bahan $\text{La}_{0,8}\text{Ca}_{0,2}\text{MnO}_3$ mengakibatkan koefisien ekspansi bahan semakin menurun. Pada pembakaran 1100 °C, dengan waktu pembakaran 30 menit memiliki koefisien ekspansi termal $9,5335 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, waktu pembakaran 1 jam memiliki koefisien ekspansi $8,397 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ dan waktu pembakaran 2 jam memiliki koefisien ekspansi $7,9545 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Pada pengukuran konduktivitas listrik bahan katoda SOFC, dari masing-masing sampel dengan waktu pembakaran makin

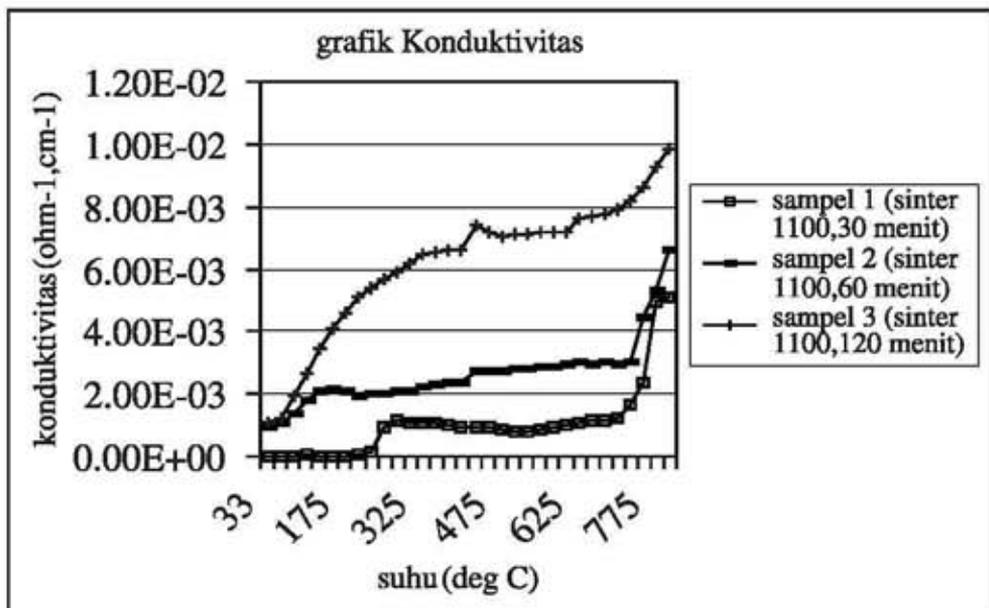
bertambah, terjadi kenaikan sifat konduktivitas listriknya. Kenaikan konduktivitas listrik bahan sangatlah kecil (Gambar 3).

Konduktivitas listrik tertinggi untuk bahan ini diperoleh pada sampel ke tiga dengan suhu pembakaran 1100 °C waktu dipertahankan 2 jam, sebesar $0,01 \text{ } \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$.

Analisa SEM dilakukan pada sampel pertama. Dari hasil ini juga, dapat dilihat pori-pori yang terbentuk dengan perbesaran yang berbeda. Pori ini sangat menentukan kerja dari sistem SOFC, ilustrasi ditunjukkan pada Gambar 4.

Hasil pengamatan dengan XRD dapat dilihat pada Gambar 5. Pada bahan $\text{La}_{0,8}\text{Ca}_{0,2}\text{MnO}_3$ menunjukkan bahwa fasa yang dominan terbentuk adalah fasa LaMnO_3 .

Analisa ini dilakukan untuk mengetahui dan membuktikan bahan struktur kristal $\text{La}_{0,8}\text{Ca}_{0,2}\text{MnO}_3$ lebih mirip dengan struktur LaMnO_3 . Pada pola difraksi, dapat dilihat nilai intensitas terhadap sudut 2θ pada puncak-puncak intensitas yang terjadi.



Gambar 3. Hasil Konduktivitas Listrik

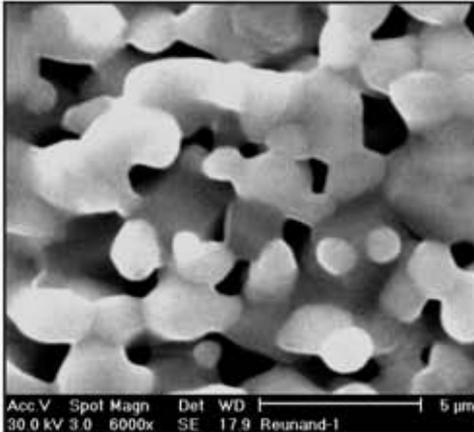
KESIMPULAN

Bahan dasar La_2CO_3 , CaO , dan $\text{MnCO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ dapat dibuat sebagai katoda untuk komponen *Solid Oxide Fuel Cell*.

Perubahan waktu pembakaran dapat mempengaruhi sifat dari $\text{La}_{0,8}\text{Ca}_{0,2}\text{MnO}_3$. Dengan peningkatan waktu pembakaran

yaitu 30 menit, 60 menit dan 120 menit mengakibatkan porositas semakin menurun menjadi 37,2 %, 35,7 % dan 30,6 %. Konduktivitas listrik meningkat yaitu: $0,005123021 \text{ ohm}^{-1}\text{cm}^{-1}$; $0,006619219 \text{ ohm}^{-1}\text{cm}^{-1}$ dan $0,009861726 \text{ ohm}^{-1}\text{cm}^{-1}$ dan koefisien ekspansi termal yang juga menurun, yaitu : $9,5335 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$; $8,397 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ dan $7,9545 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

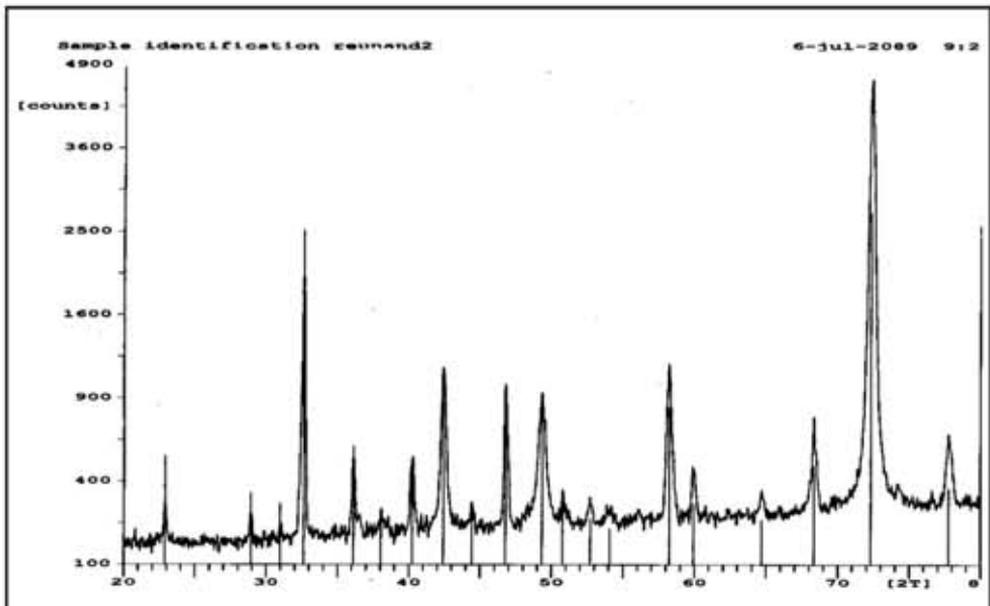
Analisa Struktur (XRD) $\text{La}_{0,8}\text{Ca}_{0,2}\text{MnO}_3$ adalah identik dengan struktur LaMnO_3 yaitu *orthorhombik* dan dari SEM dapat dilihat pori yang terbentuk.



Gambar 4. Hasil SEM $\text{La}_{0,8}\text{Ca}_{0,2}\text{MnO}_3$ dengan 6000 kali perbesaran

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) yang telah menyediakan sarana dan prasarana dalam melaksanakan penelitian ini.



Gambar 5. Hasil analisa XRD

DAFTAR PUSTAKA

- De Guire, EJ De, 2003, *Solid Oxide Fuel Cell*, 4 hlm, <http://www.spice.or.jp>, 24 April 2003.
- Larminie dan Dicks, 2001, *Science and Technology of Solid Oxide Fuel Cells* MRS Bull. Vol 25 no.3
- Minh, NQ dan Takahashi T., 1995, *Science and Tecgnology of Ceramic Fuel Cell*, Elsevier
- Suhardiman. B., 2000, *Fuel Cell*, 3 hlm, <http://www.mail-archieve.com/itb@itb.ac.id>, 11 Mei 2004.