

ANALISIS STRUKTUR SINGLE PHASE SISTEM

$Ba_{1-x}La_xMnO_3$ ($0 < x < 0,3$)

Azwar Manaf¹ dan Wisnu Ari Adi²

¹Program Studi Material Sains, FMIPA-U I

Jl. Salemba Raya No.4, Jakarta Pusat 10430

²Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN) - BATAN

Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang Selatan

e-mail : azwar@ui.ac.id

Diterima: 21 Juni 2012

Diperbaiki: 12 September 2012

Disetujui: 21 November 2012

ABSTRAK

ANALISIS STRUKTUR SINGLE PHASE SISTEM $Ba_{1-x}La_xMnO_3$ ($0 < x < 0,3$). Telah dilakukan sintesis dan karakterisasi bahan *magnetic system* $Ba_xLa_{1-x}MnO_3$ dengan ($x = 0; 0,1; 0,2$ dan $0,3$) hasil proses *mechanical alloying*. Bahan *magnetic* ini dibuat dari oksida penyusun $BaCO_3$, La_2O_3 , dan $MnCO_3$. Campuran di *milling* selama 10 jam kemudian di *sintering* pada suhu $1.000\text{ }^\circ\text{C}$ selama 10 jam. Hasil *refinement* pola difraksi Sinar-X menunjukkan bahwa sampel Lantanum dengan substitusi Barium sebesar $x = 0,1$ dan $x = 0,2$ memiliki fasa tunggal (*single phase*), yaitu fasa $La_{0,9125}MnO_3$ yang memiliki struktur *monoclinic* (I12/a1) dengan parameter kisi $a = 5,4638(7)\text{ \AA}$, $b = 5,5116(6)\text{ \AA}$ dan $c = 7,768(1)\text{ \AA}$, $\alpha = \gamma = 90^\circ$ dan $\beta = 90,786(9)^\circ$, volume unit sel sebesar $V = 233,93(3)\text{ \AA}^3$ dan kerapatan atomik sebesar $\rho = 6,449\text{ g.cm}^{-3}$. Disimpulkan bahwa kemampuan substitusi atom Barium ke dalam atom Lantanum pada sistem ini hanya sampai pada batas $x \sim 0,2$ membentuk struktur $Ba_{0,2}La_{0,8}MnO_3$. Penambahan unsur Barium selanjutnya $x > 0,2$ akan membentuk dua fasa yaitu $Ba_{0,2}La_{0,8}MnO_3$ dan $BaMnO_3$.

Kata kunci: Ba-La Manganite, Struktur kristal, Magnetic

ABSTRACT

STRUCTURE ANALYSIS OF SINGLE PHASE SISTEM $Ba_{1-x}La_xMnO_3$ ($0 < x < 0.3$). The synthesis and characterization of $Ba_xLa_{1-x}MnO_3$ with ($x = 0, 0.1, 0.2$ and 0.3) magnetic materials by mechanical alloying process have been carried out. This magnetic materials is prepared by oxides, namely $BaCO_3$, La_2O_3 , and $MnCO_3$. The mixture was milled for 10 hours then sintered at a temperature of $1,000\text{ }^\circ\text{C}$ for 10 hours. The refinement results of X-Ray Diffraction pattern of Lanthanum manganite substituted with Barium for $x = 0.1$ and 0.2 showed that the sample consisted of single phase, namely, $La_{0,9125}MnO_3$ phase. $LaMnO_3$ phase has a monoclinic structure (I12/a1) with lattice parameters $a = 5.4638(7)\text{ \AA}$, $b = 5.5116(6)\text{ \AA}$ and $c = 7.768(1)\text{ \AA}$, $\alpha = \gamma = 90^\circ$ and $\beta = 90.786(9)^\circ$, the unit cell volume of $V = 233.93(3)\text{ \AA}^3$, and the atomic density of $\rho = 6.449\text{ g.cm}^{-3}$. The concluded that ability of Barium atom substitution in the Lanthanum atom in this system only up to the limit $x \sim 0.2$ formed the $Ba_{0,2}La_{0,8}MnO_3$ structure. The addition of the element barium furthermore ($x > 0.2$) will form two phases, namely $Ba_{0,2}La_{0,8}MnO_3$ and $BaMnO_3$ phases.

Keywords: Ba-La Manganite, Crystal structure, Magnetic

PENDAHULUAN

Tantangan yang dihadapi dalam aplikasi elektronik adalah terjadinya medan bias yang biasa terjadi akibat interferensi gelombang elektromagnetik sehingga dapat mengurangi kinerja dari peralatan elektronik tersebut. Untuk menghilangkan medan bias tersebut diperlukan bahan magnet yang dapat beresonansi pada frekuensi tertentu sehingga diharapkan dapat menyerap radiasi gelombang elektromagnetik yang tidak diinginkan. Prasyarat yang

diperlukan sebagai bahan absorber gelombang elektromagnetik adalah bahan ini memiliki permeabilitas dan permittivitas yang tinggi.

Bahan absorber yang sedang berkembang saat ini adalah modifikasi bahan magnet berbasis ferit karena memiliki permeabilitas yang relative tinggi, selain itu bahan magnet berbasis *manganate system perovskite* ABO_3 yang memiliki permittivitas yang relatif tinggi. Bahan ini diharapkan dengan rekayasa struktur dapat

dimanfaatkan menjadi bahan unggul untuk aplikasi absorber gelombang elektromagnetik [1-5]. Sifat *magnetic* bahan manganit ini dipengaruhi oleh adanya valensi tercampur atom Mn. Sehingga keberadaan *coupling* Mn^{3+}/Mn^{2+} ini sangat berkontribusi terhadap sifat *magnetic* bahan ini.

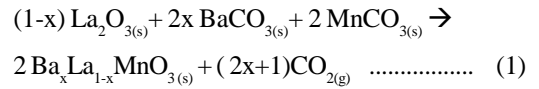
Baru-baru ini bahan berbasis manganit yang sedang marak dikembangkan adalah bahan *magnetoresistance* dengan komposisi $A_{1-x}B_xMnO_3$ yang memiliki struktur *perovskite*, dimana A adalah *triple ionized* atom (La, Nd atau Pr) dan B adalah *double ionized* atom (Ca atau Sr) seperti sistem $La_{1-x}Ca_xMnO_3$ atau $Pr_{1-x}Sr_xMnO_3$ beserta turunannya. Berdasarkan hasil percobaan sebelumnya berhasil membuat bahan absorber gelombang elektromagnetik berbasis *manganite* [6]. Modifikasi bahan sistem $LaMnO_3$ dengan mensubstitusi atom Lanthanum dengan atom Stronsium menurut senyawa empiris $La_{1-x}Sr_xMnO_3$. Kehadiran stronsium ini dapat mendorong meningkatnya jumlah *coupling* Mn^{3+}/Mn^{2+} . Modifikasi bahan sistem $(La,Sr)MnO_3$ yang didopan Fe^{3+} , dengan senyawa empiris $La_{0,8}Sr_{0,2}Mn_{1-y}Fe_yO_3$ ($0 < y < 0,2$) menunjukkan bahwa kehadiran Sr dan Fe ini dapat mempengaruhi jumlah keberadaan *coupling* Mn^{3+}/Mn^{2+} yang sangat berkontribusi terhadap sifat magnetik pada bahan ini, dan penambahan Fe ini dapat meningkatkan nilai *reflection loss* bahan tersebut hingga 34 dB pada $y=0,14$ [7].

Pada percobaan ini akan dilakukan modifikasi bahan Lantanum *manganite sistem perovskite* ($LaMnO_3$), dengan mensubstitusi atom Lantanum dengan atom Barium. Sehingga diharapkan kehadiran Barium ini dapat mempengaruhi jumlah keberadaan *coupling* Mn^{3+}/Mn^{2+} berkontribusi terhadap sifat magnetik pada bahan ini. Namun pengaruh penambahan unsur Barium ke dalam Lantanum ini dimungkinkan memiliki batasan-batasan tertentu. Karena diduga tidak semua atom barium ini dapat menggantikan posisi atom Lantanum untuk mempertahankan bentuk strukturnya. Percobaan ini merupakan kelanjutan dari percobaan sebelumnya dimana struktur dari sistem ini berubah menjadi multi *phase* setelah penambahan Lantanum $x = 0,3$. Substitusi Stronsium ke dalam atom Lantanum maksimum di $x = 0,2$ sehingga diperoleh paduan *single phase* $La_{0,8}Sr_{0,2}MnO_3$. Tujuan penelitian ini untuk mensintesis bahan magnetik sistem Lantanum *manganite* substitusi Barium dan memahami perubahan parameter struktur kristal bahan ini akibat substitusi barium ke dalam atom Lantanum dan distribusi kationiknya.

METODE PERCOBAAN

Bahan *magnetic* Lanthanum *manganite* dengan substitusi Barium disintesis menggunakan metode reaksi padatan dengan oksida-oksida penyusun adalah $BaCO_3$, La_2O_3 dan $MnCO_3$, dari produk *Merck* dengan kemurnian

99,9 %. Melakukan pencampuran bahan-bahan dasar tersebut dengan jumlah massanya digunakan prinsip stoichiometri seperti Persamaan (1) dengan reaksi:



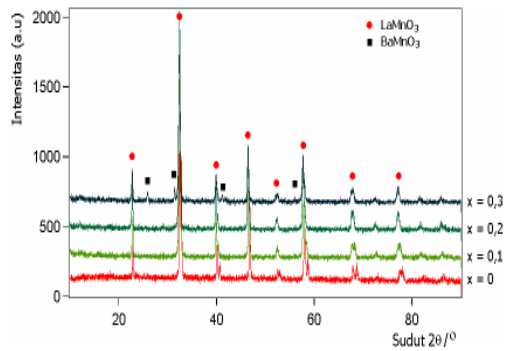
Variasi penambahan unsur Barium ke dalam Lanthanum adalah $x = 0; 0,1; 0,2$ dan $0,3$. Ketiga bahan dasar tersebut dicampur menggunakan alat *High Energy Milling (HEM) Spex 8000*. *HEM* ini berada di laboratorium Bidang Karakterisasi dan Analisis Nuklir (BKAN), Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) dengan spesifikasi *normal speed = 1400 rpm, run time = 90 menit, of time = 30 menit dan on of cycle 1 kali*. Dimensi *vial HEM* dengan panjang 7,6 cm dan diameter 5,1 cm. Sedangkan diameter *ball mill* sebesar 10 mm, terbuat dari bahan *stainless steel*. Campuran ini ditambahkan etanol dan di-*milling* selama 10 jam pada suhu ruang. Campuran hasil proses *milling* kemudian dibuat dalam bentuk sampel pelet diameter 2,5 cm dan ketebalan 2 mm yang dikompaksi dengan tekanan 6000 Psi. Sampel pelet tersebut disintering pada suhu 1.000 °C selama 10 jam dan didinginkan di dalam lingkungan *furnace*. Setelah itu sampel pelet hasil *sintering* digerus kembali untuk dilakukan karakterisasi.

Analisis kualitas dan kuantitas fasa-fasa yang ada di dalam sampel diukur menggunakan alat *X-Ray Diffractometer (XRD) Philip* tipe PW1710. Pengukuran pola difraksi sampel dilakukan dengan berkas Sinar-X dari *tube anode = Cu (Copper)* dengan panjang gelombang $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$, *mode = continuous-scan, step size = 0,02° dan time per step = 0,5 detik*. Profil difraksi sinar-X dianalisis menggunakan perangkat lunak *GSAS (Rietveld Analysis)* [8]. Karakterisasi *XRD* ini dilakukan di laboratorium Fakultas Pertambangan, Institut Teknologi Bandung (ITB).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Gambar 1 ditunjukkan hasil pengukuran pola difraksi Sinar-X gabungan sampel modifikasi sistem Lantanum *manganite* dengan penambahan unsur Barium dengan variasi ($x = 0; 0,1; 0,2$, dan $0,3$). Dari hasil pengukuran dengan difraksi sinar-X pada sampel menunjukkan bahwa tampak sampel memiliki kandungan fasa tunggal (*single phase*) pada sampel $x = 0; 0,1$ dan $0,2$. Pada penambahan unsur Lantanum selanjutnya $x = 0,3$ muncul puncak-puncak baru, sehingga sampel memiliki kandungan multi fasa (*multiphase*).

Dan berdasarkan hasil identifikasi fasa diperoleh bahwa sampel setelah ditambahkan unsur Lantanum $x = 0,1$ dan $0,2$ telah terbentuk puncak-puncak yang diduga sama dengan $x = 0$, yaitu fasa $La_{0,9125}MnO_3$, sedangkan sampel setelah ditambahkan unsur Lantanum $x = 0,3$ terdiri dari dua fasa. Kedua fasa tersebut yang



Gambar 1. Pola difraksi sinar-X sampel gabungan $Ba_xLa_{1-x}MnO_3$ dengan $x = 0; 0,1; 0,2$ dan $0,3$

paling cocok dan mengikuti kaidah hukum *Bragg* adalah fasa $La_{0,9125}MnO_3$ dan $BaMnO_3$, yang berturut-turut merujuk pada hasil penelitian sebelumnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 [9,10].

Dari Gambar 2 tersebut dapat diasumsikan bahwa penambahan unsur atau adanya substitusi Barium ke dalam unsur Lantanum pada akhirnya menghadirkan fasa lain, yaitu fasa $BaMnO_3$.

Pada Gambar 3 diperlihatkan hasil analisis struktur kristal berupa hasil *refinement fitting* dari pola difraksi Sinar-X untuk sampel $x = 0$. $La_{0,9125}MnO_3$ termasuk golongan kisi monoklinik dengan *point group* $2/m$. Posisi atom La, Mn, O(1), dan O(2) berturut-turut menempati posisi Wyckoff 4e, 4a, 4c, dan 8f. Satu unit sel monoklinik ini mengandung 12 ion O^{2-} , 4 ion La^{3+} , dan 4 ion Mn^{2+} .

Pada Gambar 4 ditunjukkan hasil *refinement* pola difraksi Sinar-X sampel $Ba_xLa_{1-x}MnO_3$ untuk $x = 0,1$.

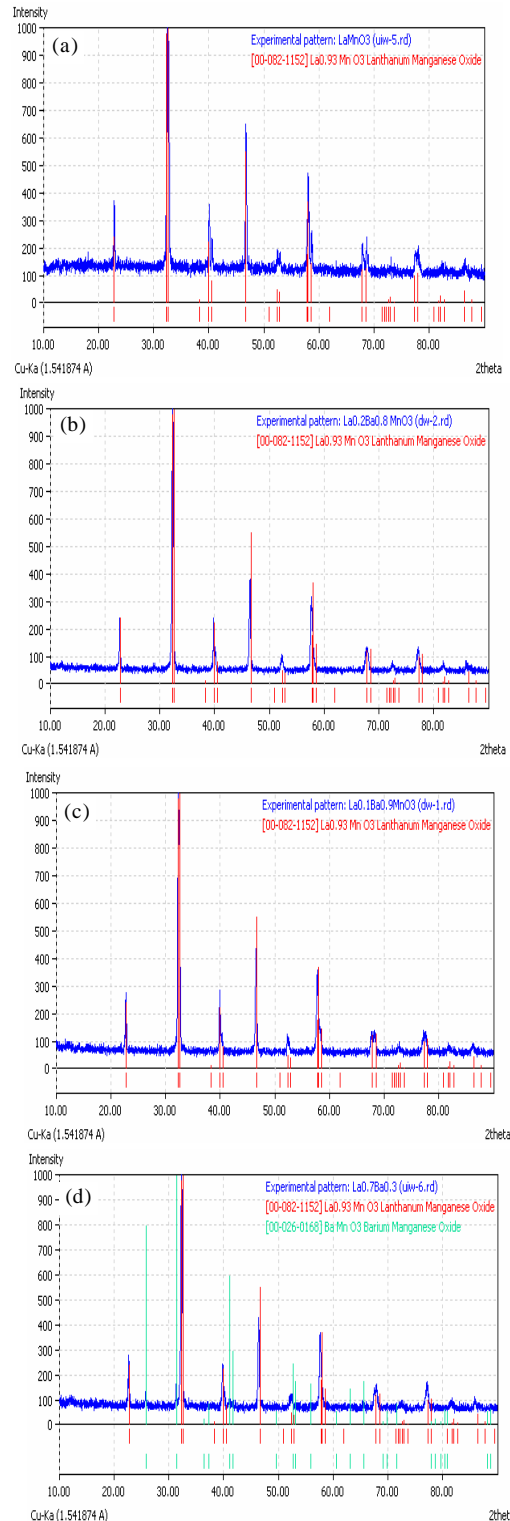
Pada Gambar 5 ditunjukkan hasil *refinement* pola difraksi Sinar-X sampel $Ba_xLa_{1-x}MnO_3$ untuk $x = 0,2$.

Nilai parameter struktur, faktor R, dan *goodness of fit* (χ^2) sampel $x = 0; x = 0,1$ dan $x = 0,2$ ditunjukkan pada Tabel 1.

Pada Gambar 6 ditunjukkan hasil *refinement* pola difraksi Sinar-X sampel $Ba_xLa_{1-x}MnO_3$ untuk $x = 0,3$. $BaMnO_3$ termasuk golongan kisi heksagonal. Posisi atom Ba(1), Ba(2), Mn(1), Mn(2), O(1) dan O(2) berturut-turut menempati posisi Wyckoff 6a, 12c1, 6b, 12c2, 36i dan 18e. Sedangkan nilai parameter struktur, faktor R dan *goodness of fit* (χ^2) sampel $x = 0,3$ ditunjukkan pada Tabel 2.

Nilai parameter struktur, faktor R dan *goodness of fit* (χ^2) pada sampel $x = 0; 0,1; 0,2$ dan $0,3$ seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Hasil *refinement* ini menghasilkan kualitas *fitting* dengan faktor R yang kecil. Faktor R merupakan *criteria of fit* dan faktor S adalah *goodness of fit* yang bernilai kecil dan nilai S atau χ^2 (*chi-squared*) yang diperkenankan maksimum 1,3 [8].

Namun kemampuan hunian atom Barium yang berhasil tersubstitusi diduga hanya mampu sampai pada batas x tertentu dan selebihnya atom Lantanum telah membentuk fasa lain yaitu $BaMnO_3$. Hasil ini terbukti berdasarkan hasil perhitungan fraksi massa pada Tabel 3 menunjukkan bahwa dengan penambahan jumlah atom Lantanum selanjutnya mengakibatkan

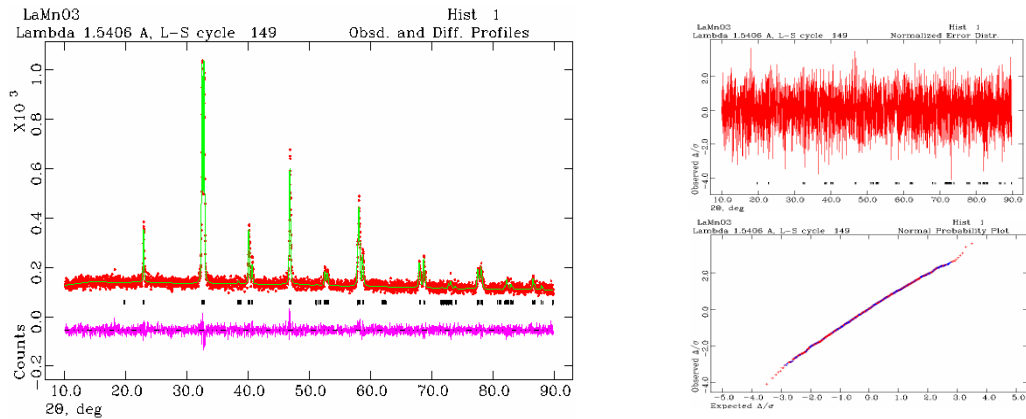


Gambar 2. Hasil identifikasi fasa sampel $Ba_xLa_{1-x}MnO_3$ untuk (a). $x = 0$, (b). $0,1$, (c). $0,2$ dan (d) $0,3$.

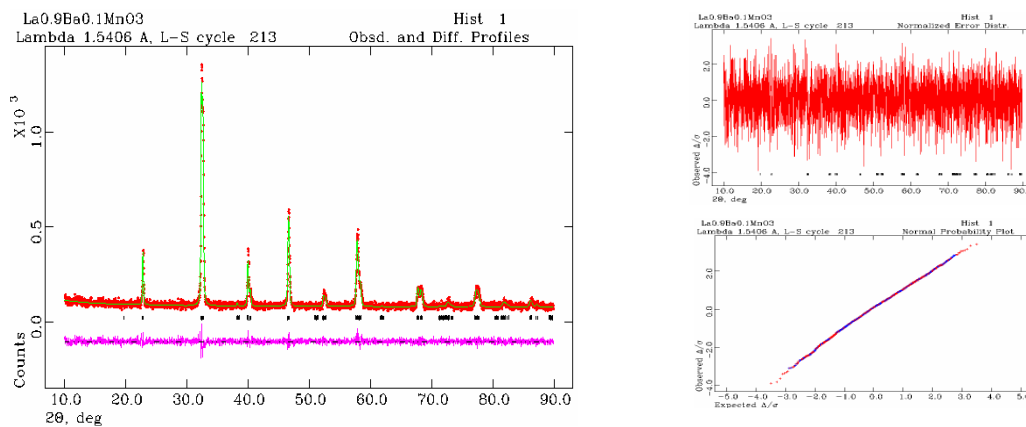
terbentuknya fasa $BaMnO_3$ dengan fraksi massa semakin meningkat.

Adanya substitusi Barium di atas $x = 0,2$ ke dalam Lantanum pada sistem Lantanum manganit, mengakibatkan terbentuknya sebuah komposit. Jumlah atom Barium yang tersedia mengakibatkan keseimbangan reaksi pada komposisi $La_{(1-x)}Ba_xMnO_3$ akan menyisakan

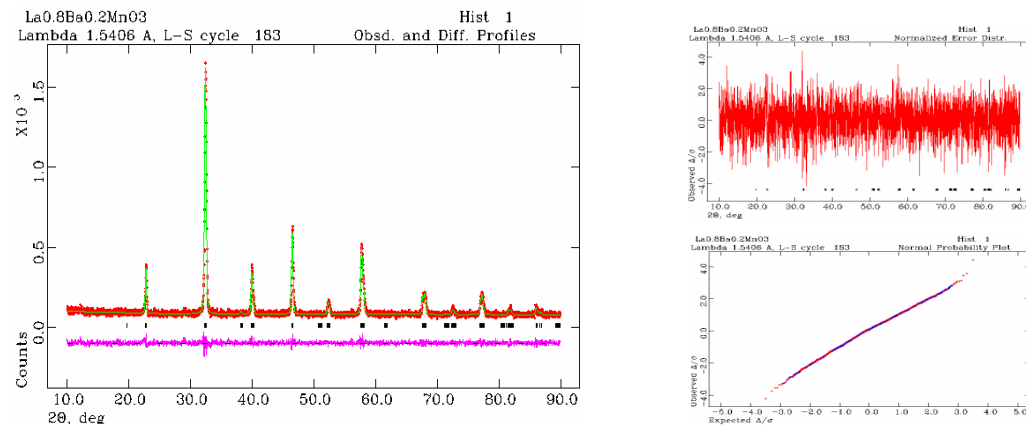
Analisis Struktur Single Phase Sistem $Ba_{1-x}La_xMnO_3$ ($0 < x < 0,3$) (Azwar Manaf)



Gambar 3. Refinement pola difraksi Sinar-X sampel $Ba_xLa_{1-x}MnO_3$ untuk $x = 0$.



Gambar 4. Refinement pola difraksi Sinar-X sampel $Ba_xLa_{1-x}MnO_3$ untuk $x = 0,1$.



Gambar 5. Refinement pola difraksi Sinar-X sampel $Ba_xLa_{1-x}MnO_3$ untuk $x = 0,2$.

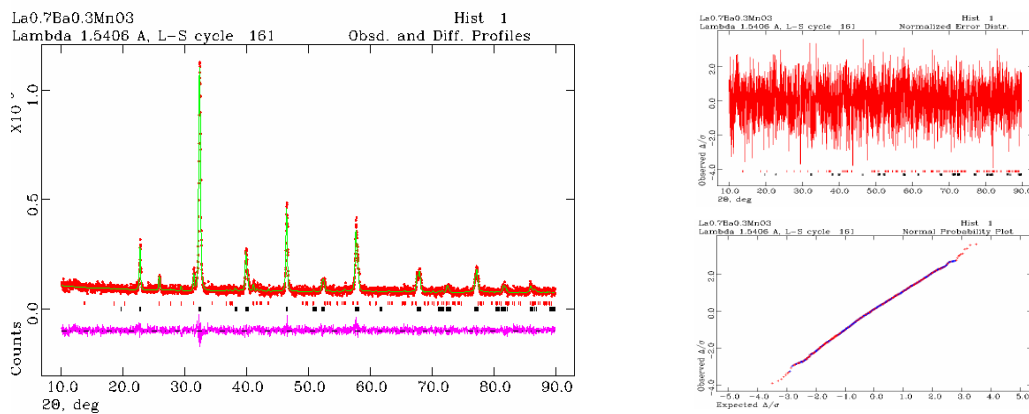
sejumlah atom Ba, Mn, dan O membentuk fasa $BaMnO_3$. Dan sejauh mana pengaruh penambahan atau substitusi Barium ke dalam atom Lantanum terhadap komposisi $La_{(1-x)}Ba_xMnO_3$ perlu dianalisis lebih lanjut.

Pada Tabel 4 ditunjukkan hasil analisis distribusi kationik atom Lantanum yang berhasil mensubstitusi atom Barium. Tampak pada komposisi $x = 0,1$ dengan rumus empiris $La_{0,9}Ba_{0,1}MnO_3$ bahwa jumlah atom Lantanum dan Barium yang terkandung di dalam senyawa tersebut adalah 90 % : 10 %. Hasil *refinement* hunian atom diperoleh kandungan Lantanum dan Barium sebesar 89,47 % : 10,53 %. Komposisi $x = 0,2$ dengan rumus

empiris $La_{0,8}Ba_{0,2}MnO_3$ bahwa jumlah atom Lantanum dan Barium yang terkandung di dalam senyawa tersebut adalah 80 % atom La : 20 % atom Ba. Hasil *refinement* hunian atom diperoleh kandungan Lantanum dan Barium adalah 79,27 % atom La : 20,73 % atom Ba. Hal ini menunjukkan bahwa substitusi atom Barium ke dalam atom Lantanum telah berhasil membentuk fasa tunggal dengan tidak mengubah struktur kristal bahan tersebut. Kemudian untuk komposisi $x = 0,3$ dengan rumus empiris $La_{0,7}Ba_{0,3}MnO_3$ bahwa jumlah atom Lantanum dan Barium yang terkandung di dalam senyawa tersebut adalah 70 % atom La : 30 % atom Ba. Sedangkan hasil *refinement*

Tabel 1. Parameter struktur, faktor R dan goodness of fit (χ^2)

Sampel x = 0		
Fasa $\text{La}_{0,9125}\text{MnO}_3$ (referensi Maignan [9])		
Grup ruang (space group) : I 1 2/a 1 (15), Sistem kristal : Monoclinic		
Parameter kisi :		
$a = 5.4638(7) \text{ \AA}$, $b = 5.5116(6) \text{ \AA}$ dan $c = 7.768(1) \text{ \AA}$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ dan $\alpha = 90.786(9)^\circ$		
$V = 233.93(3) \text{ \AA}^3$ dan $\rho = 6.449 \text{ gr.cm}^{-3}$		
Factor R	$wRp = 4.33$ $Rp = 3.47$	χ^2 (chi-squared) = 1.015
Sampel x = 0,1		
Fasa $\text{La}_{0,9125}\text{MnO}_3$ (referensi Maignan [9])		
Grup ruang (space group) : I 1 2/a 1 (15), Sistem kristal : Monoclinic		
Parameter kisi :		
$a = 5.4958(8) \text{ \AA}$, $b = 5.5367(8) \text{ \AA}$ dan $c = 7.818(1) \text{ \AA}$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ dan $\alpha = 90.51(1)^\circ$		
$V = 237.91(4) \text{ \AA}^3$ dan $\rho = 6.515 \text{ gr.cm}^{-3}$		
Factor R	$wRp = 10.13$ $Rp = 7.96$	χ^2 (chi-squared) = 1.072
Sampel x = 0,2		
Fasa $\text{La}_{0,9125}\text{MnO}_3$ (referensi Maignan [9])		
Grup ruang (space group) : I 1 2/a 1 (15), Sistem kristal : Monoclinic		
Parameter kisi :		
$a = 5.5182(8) \text{ \AA}$, $b = 5.5442(8) \text{ \AA}$ dan $c = 7.808(1) \text{ \AA}$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ dan $\alpha = 89.63(1)^\circ$		
$V = 238.88(3) \text{ \AA}^3$ dan $\rho = 6.559 \text{ gr.cm}^{-3}$		
Factor R	$wRp = 10.01$ $Rp = 7.82$	χ^2 (chi-squared) = 1.053



Gambar 6. Refinement pola difraksi Sinar-X sampel $\text{Ba}_x\text{La}_{1-x}\text{MnO}_3$ untuk $x = 0,3$

Tabel 2. Parameter struktur, faktor R dan goodness of fit (χ^2)

Sampel x = 0,3		
Fasa $\text{La}_{0,9125}\text{MnO}_3$ (referensi Maignan [9])		
Grup ruang (space group) : I 1 2/a 1 (15), Sistem kristal : Monoclinic		
Parameter kisi :		
$a = 5.519(1) \text{ \AA}$, $b = 5.5375(9) \text{ \AA}$ dan $c = 7.821(1) \text{ \AA}$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ dan $\alpha = 90.45(1)^\circ$		
$V = 239.05(4) \text{ \AA}^3$ dan $\rho = 6.531 \text{ gr.cm}^{-3}$		
Fasa BaMnO_3 (referensi Negas [10])		
Grup ruang (space group) : R -3 m (166), Sistem kristal : Heksagonal		
Parameter kisi :		
$a = 5.700(2) \text{ \AA}$, $b = 5.700(2) \text{ \AA}$ dan $c = 19.31(1) \text{ \AA}$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ dan $\alpha = 120^\circ$		
$V = 543.6(5) \text{ \AA}^3$ dan $\rho = 6.604 \text{ gr.cm}^{-3}$		
Factor R	$wRp = 10.66$ $Rp = 8.39$	χ^2 (chi-squared) = 1.109

hunian atom diperoleh kandungan Lantanum dan Barium adalah 77,89 %atom La : 22,11 %atom Ba. Hasil ini menunjukkan adanya kemampuan maksimum atom Barium dalam mensubstitusi atom Lantanum sehingga

secara alamiah akan menyisakan jumlah atom Barium sebesar 7,89 %atom Ba yang tidak berhasil mensubstitusi atom Lantanum yang pada akhirnya membentuk fasa BaMnO_3 . Berdasarkan hasil analisis distribusi kationik

Tabel 3. Fraksi massa masing-masing sampel

x	Fasa	Fraksi Massa (%)
0	LaMnO ₃	100
0,1	La _(1-x) Ba _x MnO ₃	100
0,2	La _(1-x) Ba _x MnO ₃	100
0,3	La _(1-x) Ba _x MnO ₃	90,41
	BaMnO ₃	9,59

Tabel 4. Distribusi kationik pada sistem La_{1-x}Ba_xMnO₃

x	Fasa	La (% atomik)	Ba (% atomik)	Ba sisa (% atomik)
0	LaMnO ₃	100	0	0
0,1	La _{0,9} Ba _{0,1} MnO ₃	89,47	10,53	0
0,2	La _{0,8} Ba _{0,2} MnO ₃	79,27	20,73	0
0,3	La _{0,7} Ba _{0,3} MnO ₃	77,89	22,11	7,89

ini seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4 tampak bahwa distribusi kationik dari atom Lantanum yang berhasil mensubstitusi atom Barium hanya berkisar $x \sim 0,2$ pada sistem La_(1-x)Ba_xMnO₃ dan selebihnya akan membentuk fasa BaMnO₃.

KESIMPULAN

Pada percobaan ini telah berhasil dipahami karakteristik substitusi atom Barium ke dalam atom Lantanum pada sistem *perovskite* Ba_xLa_{1-x}MnO₃. Berdasarkan hasil analisis difraksi Sinar-X menunjukkan bahwa kemampuan substitusi atom Barium ke dalam atom Lantanum pada sistem ini sampai pada batas $x \sim 0,2$ membentuk struktur La_{0,9125}MnO₃ yang memiliki sistem *Monoclinic* (I 1 2/a 1) dengan parameter kisi $a = 5,4638(7)$ Å, $b = 5,5116(6)$ Å dan $c = 7,768(1)$ Å, $\alpha = \gamma = 90^\circ$ dan $\beta = 90,86(9)^\circ$, volume unit sel sebesar $V = 233,93(3)$ Å³ dan kerapatan atomik sebesar $\rho = 6,449$ g/cm³. Penambahan unsur Barium selanjutnya akan membentuk fasa lain yaitu BaMnO₃ yang memiliki sistem Heksagonal (R -3 m) dengan parameter kisi $a = b = 5,700(2)$ Å dan $c = 19,31(1)$ Å, $\alpha = \gamma = 90^\circ$ dan $\beta = 120^\circ$, volume unit sel sebesar $V = 543,6(5)$ Å³ dan kerapatan atomik sebesar $\rho = 6,604$ g/cm³.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didukung oleh Riset Insentif Sinas 2012, Pengembangan Teknologi Pengolahan Sumber Daya Pasir Besi Ilmenit Menjadi Produk Besi/Baja, Pigmen, Bahan Keramik, Kosmetik, dan Fotokatalistik dalam Mendukung Industri Nasional, Dr. Nurul Taufiq Rochman, M. Eng, PhD.

DAFTAR ACUAN

- [1]. R. GROSS, L. ALFF, B. BUCHNER, B.H. FREITAG, C. HOFENER, J. KLEIN, Y. LU, W. MADER, J.B. PHILIPP, M.S.R. RAO, P. REUTLER, S. RITTER, S. THIENHAUS, S. UHLENBRUCK, B. WIEDENHORST, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **211** (2000) 150-159
- [2]. F. DAMAY, C. MATIN, A. MAIGNAN, B. RAVEAU, *J. Appl. Phys.*, **82** (12) (1997)
- [3]. ALEXANDRE R. BUENOA, MARIA L. GREGORIB, MARIA C.S., *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **320** (2008) 864-870
- [4]. JOONGHOE DHO, E.K. LEE, J.Y. PARK, N.H. HUR, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **285** (2005) 164-168
- [5]. N. KALLEL, G. DEZANNEAU, J. DHAHRI, M. OUMEZZINE, H. VINCENT, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **261** (2003) 56-65
- [6]. G. LI, G.G. HUB, H.D. ZHOUE, X.J. X.-J. FAN, X.G. LI, *Materials Chemistry and Physics*, **75** (2002) 101-104
- [7]. K.S. ZHOU, H. XIA, K.-L. HUANG, L.-W. DENG, D. WANG, Y.-P. ZHOU, S.-H. GAO, *Physica B*, **404** (2009) 175-179
- [8]. F. IZUMI, *A Rietveld-Refinement Program RIETAN-94 for Angle-Dispersive X-Ray and Neutron Powder Diffraction*, National Institute for Research in Inorganic Materials 1-1 Namiki, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan, (1996)
- [9]. MAIGNAN A., MICHEL C., HERVIEU M., RAVEAU B., *Solid State Communications*, **101** (4) (1997) 277-281
- [10]. NEGAS, ROTH., *J. Solid State Chem.*, **3** (1971) 323