

Pengaruh Doping Fe_2O_3 Terhadap Sifat Ferroelektrik Dan Ferromagnetik PbTiO_3 Dengan Metode *Mechanical Alloying*

Jennis Fitria, Rindang Fajarin, dan Haryati Purwaningsih
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya
e-mail: rindang_f@yahoo.com

Abstrak—Multiferroik merupakan topik yang menarik untuk perkembangan penting teknologi dan alam, di mana dua fenomena koeksistensi dari Ferromagnetik (FM) dan Ferroelektrik (FE). PbTiO_3 merupakan material oksida tipe perovskite yang mempunyai peranan penting dalam aplikasi elektronik karena memiliki sifat, dielektrik, ferroelektrik, piezoelektrik dan magnetik. Namun masih sedikit yang meneliti tentang pendopingan Fe pada PbTiO_3 yang dapat menaikkan sifat ferromagnetik sehingga material ini bisa menjadi multiferroik. Penelitian ini mempelajari tentang pengaruh variasi doping dan temperature sintering pada PbTiO_3 . Pembuatan nanopartikel $\text{Pb}(\text{Ti}, \text{Fe})\text{O}_3$ dilakukan dengan cara mencampur Fe_2O_3 pada PbTiO_3 secara *mechanical alloying*. Untuk mengetahui perubahan yang terjadi ketika penambahan Fe dilakukan pengujian XRD, SEM-EDX, Ferroelektrik dan Suseptibilitas. Penelitian ini menggunakan variasi doping Fe_2O_3 0.2, 0.3, 0.5 mol konten Fe dan temperature sintering 950, 1000, 1050 °C. PbTiO_3 bersifat multiferroik dengan adanya penambahan Fe_2O_3 . Hal ini ditunjukkan dengan nilai polarisasi remanensi $\geq 36 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ dan medan koersif $\geq 54 \text{ kV}/\text{cm}$.

Kata Kunci— Multiferroik, PbTiO_3 , *Mechanical alloying*, PbTiO_3 yang didoping Fe.

I. PENDAHULUAN

Ferroelektrik dengan struktur perovskit (ABO_3), misalnya, titanat timbal (PbTiO_3), adalah oksida ferroelektrik yang paling banyak dipelajari karena banyak digunakan dalam kapasitor film tipis, transduser elektronik, aktuator, high-k dielektrik, sensor piroelektrik, dan nonlinier optik. Studi tentang PbTiO_3 berstruktur nano masih terbatas, hal ini karena kurangnya teknik sintesis yang baik untuk mempersiapkan nanopartikel PbTiO_3 [1]

Timbal titanat (PbTiO_3) telah banyak diteliti selama beberapa dekade terakhir. PbTiO_3 merupakan material yang berbentuk perovskit [2]. Ketika mengalami penambahan unsur doping akan merubah bentuk struktur kristalnya. Proses penambahan unsur doping dimulai ketika pembentukan *mechanical alloying*. Unsur Fe dipilih karena memiliki jari-jari atom yang tidak jauh berbeda dengan Ti yaitu 0.79 Å. Sedangkan jari-jari atom Ti adalah 0,75 Å [3]. Oleh karena itu Fe_2O_3 dapat dengan mudah masuk dalam kisi Ti. Atom Fe akan mensubstitusi atom Ti ketika proses berlangsung.

Sampai saat ini, untuk mendapatkan Fe yang mendoping PbTiO_3 dilakukan banyak cara seperti solid state, co-precipitation, dan masih banyak lainnya. Salah satunya untuk mendapatkan reaksi antar butir dengan memberikan energi panas. Pemberian energi panas untuk menjadikan butiran-butiran pada $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2 - \text{PbO}$ berinteraksi, dapat dilakukan dengan pemberian energi minimum, yang didapat dari pemberian energi kinetik (gaya gesek) melalui metode Powder Metallurgy dengan berbahan serbuk Fe_2O_3 , TiO_2 dan PbO yang dipadukan secara mekanik dengan proses *Mechanical Alloying*. Pada penelitian ini khususnya untuk membentuk senyawa dari Fe yang mendoping PbTiO_3 dengan struktur perovskite. Penelitian ini menggunakan variasi temperature sintering dan variasi doping Fe untuk mengukur nilai magnetiknya dan ferroelektriknya.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh variasi doping Fe_2O_3 dan temperatur sintering terhadap pembentukan nanopartikel PbTiO_3 , menganalisa pengaruh variasi doping Fe_2O_3 dan temperatur sintering terhadap sifat ferroelektrik, menganalisa pengaruh variasi doping Fe_2O_3 terhadap sifat ferromagnetik. Penelitian ini diharapkan agar terbentuk sifat multiferroik dalam PbTiO_3 .

II. URAIAN PENELITIAN

A. Sintesa PbTiO_3 yang didoping Fe_2O_3

Serbuk PbTiO_3 dihasilkan dari proses *mechanical alloying* dengan menggunakan waktu 2 jam. Menggunakan perbandingan BPR (*Ball Powder Ratio*) yang digunakan adalah 6:1 [4].

Proses sintesis PbTiO_3 melewati dua proses yaitu proses pembuatan PbTiO_3 yang berasal dari PbO dan TiO_2 . Kemudian proses pendopingan PbTiO_3 dengan Fe_2O_3 . Serbuk PbO 74% wt dan TiO_2 26% wt ditimbang. Setelah itu, dimortar selama 2 jam, dan penambahan PCA *ethanol* sebanyak 10 tetes, dengan menggunakan alat Planetary Ball Mill Retsch PM400. Proses milling menggunakan kecepatan sebesar 300 rpm. Dengan waktu 2 jam. Perbandingan BPR (*Ball Powder Ratio*) yang digunakan adalah 6:1. Setelah itu dikompaksi dengan 300 bar pada 3.5 gram serbuk hasil milling PbTiO_3 .

Hasil milling dari PbTiO_3 kemudian ditambahkan dengan Fe_2O_3 . Sintesa PbTiO_3 yang didoping Fe_2O_3 menggunakan variasi doping dengan penambahan 0.2 mol, 0.3 mol dan 0.4 mol. Penelitian ini juga menggunakan variasi temperatur 950,1050 dan 1150 °C selama 5 jam. Setelah ditambahkan Fe_2O_3 kemudian dimortar selama 30 menit. Kemudian kembali dimiling dengan menggunakan BPR 6:1 selama 2 jam dan penambahan PCA sebanyak 10 tetes.

Serbuk hasil milling diambil masing-masing 3.5 gram untuk variasi doping dan temperatur kemudian di komaksi menjadi 9 buah pelet. Kompaksi dilakukan dengan tekanan 250 bar pada 3.5 gram serbuk hasil milling. Kemudian pelet di sintering dengan variasi temperatur 950,1050 dan 1150 °C selama 5 jam dengan variasi doping 0.2 mol, 0.3 mol dan 0.4 mol.

B. Karakterisasi

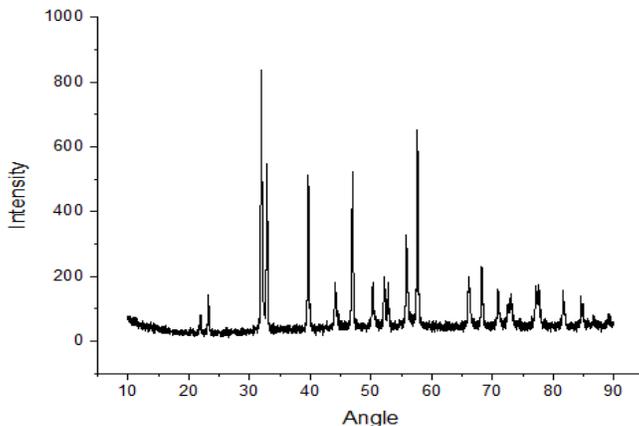
Pengujian XRD dilakukan menggunakan alat PAN Analytical dengan panjang gelombang $\text{CuK}\alpha$ sebesar 1.54056 Å. Sinar X ditembakkan dengan rentang sudut 2θ 10-90 pada sampel. Hasil pengujian XRD diidentifikasi dengan search match menggunakan software Match!, serta pencocokan secara manual dengan PDF card menggunakan PCPDFWIN untuk menganalisa puncak-puncak difraksi yang terdapat pada data hasil XRD.

Pengujian SEM FEI Inspect S50 untuk menganalisa bentuk morfologi. Pengujian nilai Ferroelektrik dengan osciloscop untuk mendapatkan nilai polarisasi remanen dan medan koersif. Pengujian suseptibilitas untuk mendapatkan konstanta suseptibilitas magnet yang meyakinkan bersifat ferromagnetik, paramagnetik ataupun diamagnetik.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Uji XRD

Sebelum melakukan pendopingan PbTiO_3 diuji XRD untuk memastikan telah terbentuk PbTiO_3 dari hasil *mechanical alloying*. Hasil Uji XRD PbTiO_3 ditampilkan pada Gambar 1 sebagai berikut.

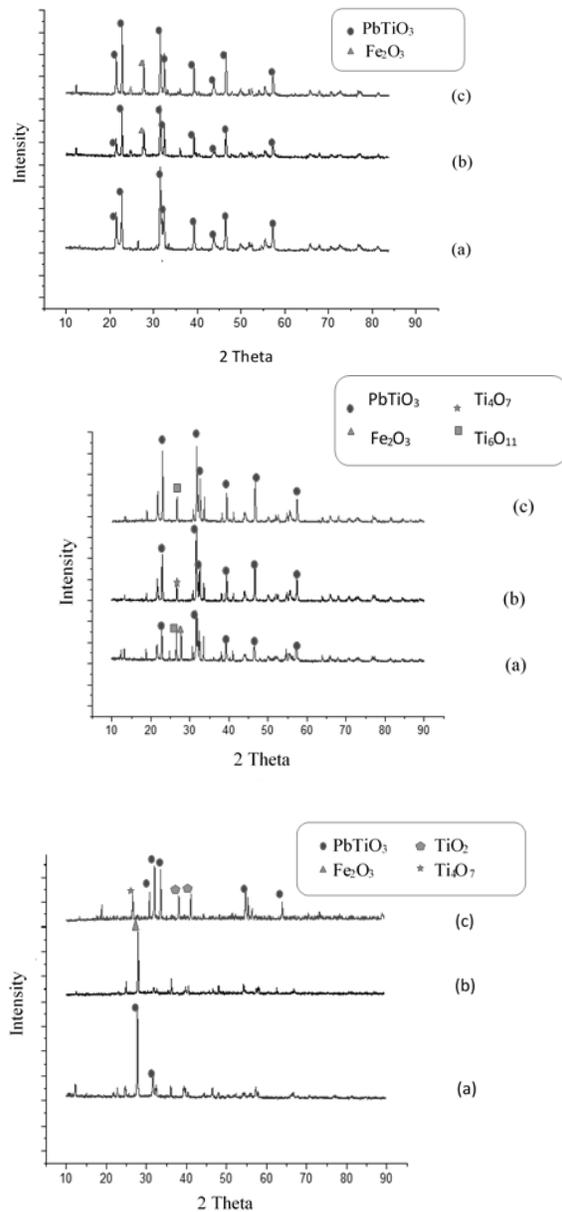


Gambar.1 Hasil Pengujian XRD PbTiO_3

Berdasarkan Gambar 1 hasil analisa pengujian XRD PbTiO_3 dapat diketahui bahwa fasa yang terjadi pada serbuk

PbTiO_3 dengan sintering 1000°C selama 2 jam adalah PbTiO_3 dengan intensitas peak yang tertinggi pada 2θ 31.901°; 31.978°; dan 32.371°. Analisa ini menggunakan *software Match!* dan pencocokan dengan JCPDF 00-048-0105. Dari hasil search match, tidak terbentuk fasa lain pada PbTiO_3 tersebut, sehingga dapat dinyatakan bahwa fasa pada serbuk tersebut adalah 100% PbTiO_3 .

Pengujian XRD didapatkan puncak tertinggi dari masing-masing doping 0.2 mol, 0.3 mol dan 0.4 mol pada temperatur 950°C adalah 31.4491, 22.79, dan 22.77.



Gambar.2 Hasil Pengujian XRD pada Sampel dengan Variasi konsentrasi pada temperatur 950°C, 1050°C, 1150°C (a) 0.2 mol, (b) 0.3 mol dan (c) 0.4 mol

Berdasarkan Gambar 2 dengan 0.2 mol Fe_2O_3 pada temperatur 950° C dan 1150°C terbentuk 100% PbTiO_3 .

Sedangkan pada temperatur 1050°C masih didapatkan peak Fe_2O_3 dan Ti_6O_{11} . Sedangkan pada doping 0.3 mol pada temperatur 950° C masih terbentuk Fe_2O_3 dan terbentuk fasa baru yaitu Ti_4O_7 pada 1050°C. Pada temperatur 1150°C hanya terbentuk 100% Fe_2O_3 . Pada doping 0.4 mol temperatur 950 masih terbentuk Fe_2O_3 dan pada temperatur 1050 terbentuk Ti_4O_7 . Kemudian terbentuk peak Fe_2O_3 dan TiO_2 pada temperatur 1150°C.

Peak Fe_2O_3 dan TiO_2 masih muncul dalam PbTiO_3 . Hal ini menunjukkan belum terjadi *alloying* pada pembentukan PbTiO_3 yang didoping Fe_2O_3 . *Alloying* belum terbentuk dimungkinkan karena kurang homogen serbuk yang dimilling pada pembentukan PbTiO_3 murni ataupun PbTiO_3 setelah mengalami pendopingan. Selain itu, terbentuknya TiO_2 pada temperatur tertinggi disebabkan karena semakin tinggi energi thermal yang diberikan pada kenaikan temperatur sintering, maka difusi atom Ti akan semakin banyak. Hal ini bersesuaian dengan penelitian yang dilakukan oleh Kurnia tahun 2011. Kurnia menunjukkan bahwa pada temperatur di atas 1100°C masih terbentuk TiO_2 . Atom-atom Ti dan Fe yang tersebar tidak tersubstitusi kemungkinan besar hanya menempel pada sisi luar kristal dan kemudian berdifusi meninggalkan PbTiO_3 . Difusi atom sangat mungkin terjadi karena adanya pemberian energi yang tinggi dalam hal ini temperatur. Sehingga temperatur sangat berpengaruh pada aktivitas pergerakan atom tersebut.

Terdapat fasa baru yaitu Ti_4O_7 dan Ti_6O_{11} pada temperatur di atas 950°C. Hal tersebut bisa terjadi karena adanya vacancy oksigen sehingga rumus kimianya $\text{Ti}_n\text{O}_{2n-1}$ dikenal dengan *magnely phase*. Kombinasi antara doping 0.2-0.4 mol dan temperatur sintering 1050°C memungkinkan terjadinya cacat berupa kekosongan pada oksigen. Apabila TiO_2 diberi perlakuan panas akan menyebabkan cacat seperti kekosongan oksigen di dalam kisi kristal dan penambahan Ti^{+3} atau Ti^{+4} secara intertisi sehingga terbentuk $\text{Ti}_n\text{O}_{2n-1}$ [5]. Terjadinya *magnely phase* pada temperatur di atas 1000°C [6].

Tabel 1.

Data posisi 2 θ dan FWHM PbTiO_3 dengan variasi doping pada temperatur sintering 950°C, 1050°C, 1150°C

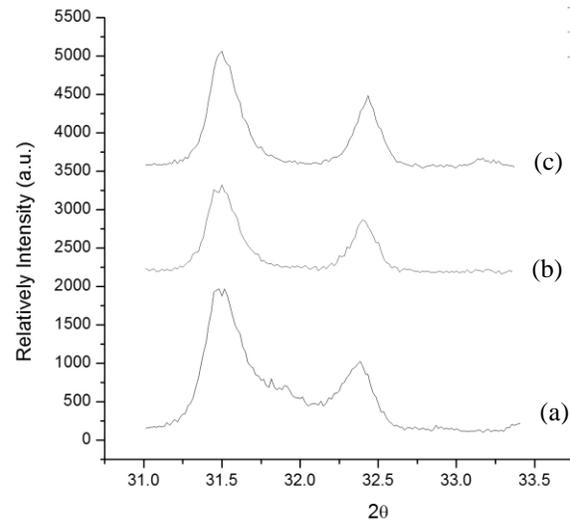
Dopin g (mol)	Temperatur (°C)	2theta	d-spacing	D	ϵ
0.2	950	31.760	2.803	10.59	1.20×10^{-6}
0.3	950	31.431	2.846	10.59	1.20×10^{-6}
0.4	950	31.472	2.842	24.20	5.28×10^{-7}
0.2	1050	31.514	2.838	42.29	3.01×10^{-6}
0.3	1050	31.611	2.830	18.59	6.84×10^{-6}
0.4	1050	31.710	2.821	62.65	2.02×10^{-6}
0.2	950	31.652	2.826	24.21	5.24×10^{-7}
0.3	1050	31.843	2.810	24.00	5.98×10^{-7}
0.4	1150	31.960	2.797	38.67	3.22×10^{-7}

Berdasarkan hasil XRD, struktur kristal yang terbentuk setelah pendopingan sama seperti sebelum didoping, yaitu tetragonal. Hal ini menunjukkan tidak adanya perubahan struktur kristal. Apabila tidak terdapat perubahan struktur kristal maka dapat dinyatakan Fe_2O_3 telah berhasil masuk

dalam kristal PbTiO_3 . Sehingga doping dapat dikatakan berhasil.

Dari hasil analisa peak *broadening* Fe_2O_3 berhasil tersubstitusi pada PbTiO_3 . Hal ini ditunjukkan dengan bergesernya nilai d-spacing pada nilai 2theta yang berdekatan. Didukung juga dengan nilai parameter kisi yang menurun. Terjadinya perubahan nilai parameter kisi disebabkan karena unsur Fe yang telah masuk dalam kisi PbTiO_3 sehingga mengubah kisi PbTiO_3 .

Terdapat nilai regangan mikro (*microstrain*) diakibatkan adanya cacat kristal yang disebabkan oleh defect. Terjadinya regangan kisi dapat ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Terjadinya pergeseran kurva pada hasil XRD PbTiO_3 yang didoping Fe_2O_3 (a) 0.2 mol, (b) 0.3 mol, (c) 0.4 mol

Pada hasil pengujian XRD dapat dilihat bahwa pada peak terjadi pergeseran. Hal ini dimungkinkan karena butiran ukuran kristal yang kecil dan juga lattice strain [7]. Lattice strain (regangan kisi) Terjadi jika semua efek yang menyebabkan broadening atau pelebaran puncak terjadi secara bersamaan dan menghasilkan pola puncak difraksi yang lebih lebar (diikuti penurunan nilai intensitas). Penggambaran pola puncak difraksi dari yang ideal kemudian mengalami broadening atau pelebaran yang disebabkan oleh efek instrumental, efek ukuran kristal dan lattice strain. Suatu material dimungkinkan mengalami broadening atau pelebaran puncak difraksi sinar x yang disebabkan oleh ukuran kristal yang kecil dan lattice strain. Perhitungan ukuran kristal dan lattice strain yang menyebabkan broadening biasanya menggunakan puncak-puncak difraksi yang berada pada sudut-sudut kecil agar efek broadening ini bisa terlihat dengan baik.

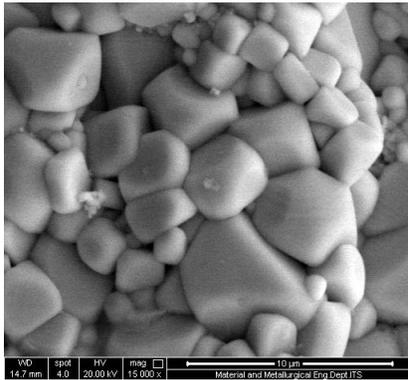
Perbedaan tersebut menunjukkan adanya penambahan kisi dari kristal PbTiO_3 akibat jari-jari Fe yang sedikit lebih besar daripada jari-jari Ti. Terjadinya pergeseran nilai 2theta antara PbTiO_3 tanpa doping dengan doping dari hasil XRD mengindikasikan bahwa melarutnya Fe ke PbTiO_3 secara substitusi. Adapun reaksi defect yang dapat terjadi sebagai berikut:



Pada persamaan 1 tersebut menunjukkan bahwa *defect* ekstrinsik dimana Fe adalah impuritas yang tersubstitusi ke dalam struktur kristal TiO_2 dan menggantikan posisi Ti, hal ini disebabkan karena jari-jari atom Fe dan Ti yang berdekatan. Unsur Fe dipilih karena memiliki jari-jari atom yang tidak jauh berbeda dengan Ti yaitu 0.79 Å. Sedangkan jari-jari atom Ti adalah 0,75 Å. Oleh karena itu Fe_2O_3 dapat dengan mudah masuk dalam kisi Ti.

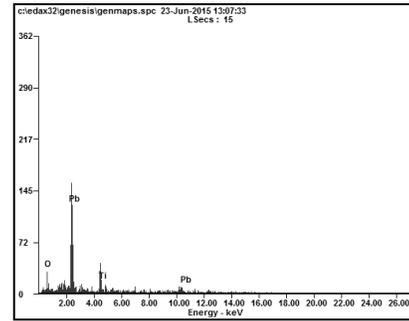
B. Hasil Uji dari SEM dan EDX

Uji *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan untuk mengetahui morfologi serbuk hasil *milling* dan laku panas menggunakan SEM FEI Inspect S50. PbTiO_3 yang telah terbentuk dengan *mechanical alloying* dilakukan uji SEM. Adapun hasil SEM dari PbTiO_3 ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil SEM perbesaran 15000x dari PbTiO_3 yang belum mengalami doping.

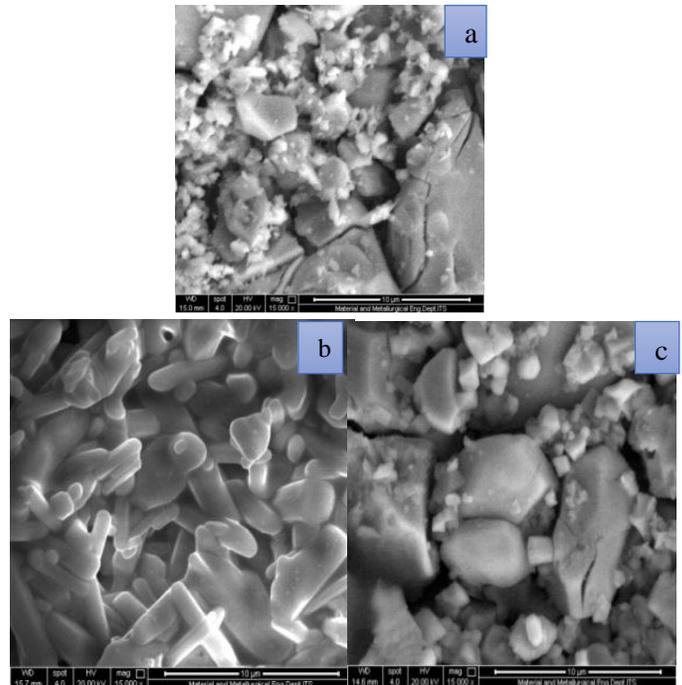
Gambar 4. menunjukkan stuktur mikro PbTiO_3 dengan perbesaran 15000x berupa agregat dengan bentuk yang tidak beraturan dan terlihat memiliki distribusi ukuran yang acak. Pada Gambar 4 terlihat juga bahwa hasil sintering 1000°C masih terdapat porositas. Namun, pada hasil ini senyawa PbO dan TiO_2 sudah tidak terbentuk di mana ketika sebelum sintering terlihat bahwa masih terdapat senyawa PbO dan TiO_2 . Kemudian PbTiO_3 dilakukan uji EDAX. Hasil EDAX ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Pengujian EDAX PbTiO_3

Berdasarkan Gambar 5 ditunjukkan bahwa terdapat unsur Pb, Ti, dan O dalam PbTiO_3 . Didapatkan juga persentase unsur dari Pb sebesar 25.49%, Ti sebesar 15.09% dan O sebesar 59.42%.

Kemudian PbTiO_3 ditambahkan Fe_2O_3 . Penelitian ini digunakan variasi konsentrasi Fe_2O_3 yaitu 0.2 mol, 0.3 mol dan 0.4 mol pada temperatur sintering 950°C , 1050°C , 1150°C . Kemudian PbTiO_3 dilakukan penambahan Fe_2O_3 . Dengan konsentrasi 0.2, 0.3, 0.4 mol dan laku panas temperatur 950°C . Setelah mengalami pendopingan Fe_2O_3 diuji SEM. Hasil SEM ditampilkan pada Gambar 6.

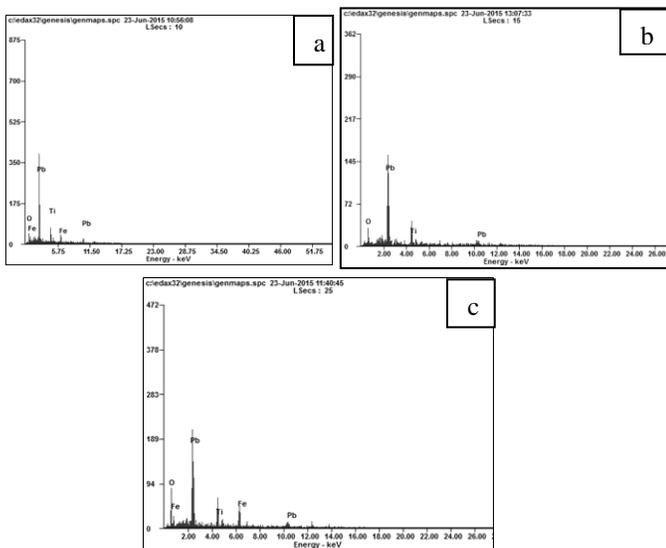


Gambar 6. Hasil SEM perbesaran 15000x dari PbTiO_3 yang sudah mengalami sintering pada temperatur 950°C dengan doping , (a) 0.2 mol, (c) 0.3 mol, (d) 0.4 mol

Hasil pengujian SEM yang menunjukkan variasi doping Fe_2O_3 pada PbTiO_3 dengan temperatur sintering 950°C pada Gambar 6. Berdasarkan Gambar 6(a) menunjukkan PbTiO_3 berbentuk agregat yang tidak beraturan dan homogen. Namun ketika ada penambahan Fe_2O_3 0.2 mol dan 0.4 mol pada Gambar 6(a) dan 6(b) masih berbentuk agregat yang tidak beraturan dan tidak homogen. Distribusi pun tersebar secara

acak. Gumpalan agregat berasal dari ikatan lemah yang memungkinkan tekanan van der Waals oleh ikatan ionik/kovalen yang memiliki area sangat kecil. Hal ini dapat disebabkan karena tekanan kompaksi yang diberikan masih kecil. Proses kompaksi pada dasarnya adalah merupakan suatu proses pemadatan atau pengikatan sementara antara butiran partikel menjadi suatu massa yang kompak dengan cara ditekan selama kurang lebih 3 menit. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa semakin tinggi gaya tekan atau kompaksi yang diberikan pada serbuk maka ikatan butiran partikel bahan menjadi semakin kuat sehingga jarak antar partikel menjadi semakin rapat atau semakin kecil. Dengan butiran partikel yang semakin rapat tersebut maka densitas bahan hasil kompaksi akan semakin besar. Semakin tinggi tekanan kompaksi yang diberikan, maka pori yang dihasilkan semakin kecil dan densitas semakin besar [8].

Pada Gambar 6(c) menunjukkan gambar yang berbeda apabila dibandingkan dengan Gambar 6(a), 6(b) dan 6(c). Gambar 6(c) menunjukkan bentuk silinder yang homogen dengan distribusi ukuran yang merata. Hal ini didukung dari pengujian EDX yang dilakukan. Dari pengujian terdapat persebaran unsur Pb, Ti, O dan Fe sehingga didapatkan komposisi Fe yang tersebar dalam PbTiO_3 .



Gambar 7. Hasil SEM-EDX pada Sintering 950°C PbTiO_3 , (a) 0.2 mol, (b) 0.3 mol dan (c) 0.4 mol

Dari Gambar 7 terlihat jelas bahwa terdapat unsur Fe dalam PbTiO_3 setelah pendopingan. Intensitas unsur Pb sedikit lebih turun apabila dibandingkan dengan sebelum didoping. Sedangkan intensitas Ti mengalami penurunan yang signifikan apabila dibandingkan sebelum didoping. Penurunan unsur Pb dan Ti juga disertai dengan kenaikan unsur Fe. Kenaikan konsentrasi Fe_2O_3 menyebabkan terjadinya kenaikan unsur Fe dalam PbTiO_3 . Penurunan yang signifikan dari unsur Ti dapat mengindikasikan Fe sudah tersubstitusi Ti. Hal ini mengindikasikan bahwa telah terjadi pendopingan Fe.

Tabel 2.

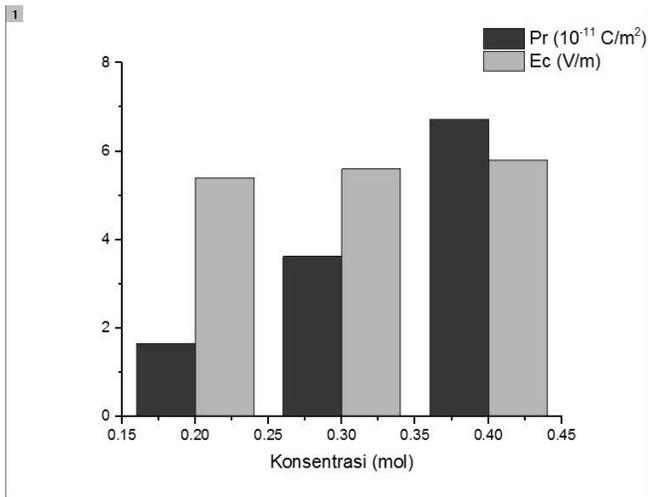
Komposisi unsur penyusunan paduan partikel PbTiO_3 variasi konsentrasi Fe_2O_3 dengan temperatur sintering 950°C

Konsentrasi	Element	Wt%	Ar%
0.2 mol	O	16.29	61.87
	Pb	68.95	20.22
	Ti	10.33	13.10
	Fe	04.42	04.81
0.3 mol	O	28.95	72.07
	Pb	47.23	09.08
	Ti	15.71	13.07
	Fe	08.11	05.78
0.4 mol	O	21.62	68.60
	Pb	61.95	15.18
	Ti	98.57	09.08
	Fe	07.86	07.14

Berdasarkan Tabel 2 terdapat unsur Pb, Ti, Fe dan O pada proses pendopingan Fe_2O_3 pada PbTiO_3 , sehingga Fe dinyatakan telah berhasil terdoping. Dari 0.2 mol menunjukkan persentase Pb sebesar 20.22%, Ti 13.10%, Fe 04.1% dan O 61.87%. Data dapat dilihat bahwa nilai unsur O tertinggi. Pada 0.3 mol terdapat unsur Pb, Ti, Fe dan O pada proses pendopingan Fe_2O_3 pada PbTiO_3 , sehingga dapat dinyatakan telah berhasil. Dari data didapatkan persentase Pb 9.08%, Ti 13.07%, Fe 5.78% dan O 72.07%. Selain itu juga terjadi kenaikan nilai pada masing-masing Ti, O dan Fe. Tetapi terdapat penurunan pada unsur Pb dibandingkan 0.2 mol. Pada 0.3 mol Fe_2O_3 terdapat unsur Pb, Ti, Fe dan O pada proses pendopingan Fe_2O_3 pada PbTiO_3 , sehingga dapat dinyatakan telah berhasil. Dari data didapatkan persentase nilai Pb 15.18%, Ti 9.08%, Fe 7.14% dan O 68.0%. Selain itu juga terjadi kenaikan nilai pada masing-masing Pb, Ti, O dan Fe dari hasil EDX yang ditunjukkan pada Gambar 7 karena pengaruh variasi doping.

C. Hasil Pengujian Ferroelektrik

Penambahan Fe_2O_3 juga memiliki pengaruh terhadap nilai ferroelektriknya. Nilai ferroelektrik bergantung pada kualitas kristal. Kualitas kristal dapat diamati melalui nilai FWHM yang didapatkan dari XRD. Semakin kecil nilai FWHM, maka kristalnya semakin baik. Kristal semakin baik maka semakin baik nilai ferroelektriknya [9]. Berdasarkan uji polarisasi untuk PbTiO_3 tanpa doping didapatkan nilai V_x sebesar 1 Volt, sedangkan pada V_y adalah sebesar 1.2×10^{-2} Volt. Untuk PbTiO_3 doping Fe_2O_3 0.2 mol dengan temperature sintering 950°C didapatkan nilai V_x sebesar 1 Volt, sedangkan pada V_y adalah sebesar 3.2×10^{-3} Volt, pada doping 0.3 mol temperature sintering 950°C didapatkan nilai V_x sebesar 0.95 Volt, sedangkan pada V_y adalah sebesar 12.99×10^{-3} Volt. Sedangkan pada doping 0.4 mol temperature sintering 950°C didapatkan nilai V_x sebesar 4.6 Volt, sedangkan pada V_y adalah sebesar 2.6×10^{-3} Volt. Sehingga berdasarkan hasil Gambar 8. tersebut dapat diperoleh nilai E_c (medan listrik koersif) dan mendapatkan nilai polarisasi remanen.



Gambar 8 Hubungan Variasi Doping dengan Polarisasi Remanen dan Medan Koersif

Dapat dikatakan bahwa semakin tinggi mol dalam doping maka nilai medan listrik koersif (E_c) berubah semakin besar. Sedangkan nilai polarisasi remanensi (P_r) ketika semakin tinggi mol, maka nilai polarisasi remanensinya juga semakin tinggi. Hal ini juga menunjukkan bahwa seiring dengan semakin besarnya variasi molar maka semakin banyak atom Fe^{+3} yang menggantikan Ti^{+4} Jarak inti terhadap electron menjadi dekat sehingga inti akan mengikat elektron menjadi lebih kuat. Karena elektron terikat kuat oleh inti maka elektron mudah bergerak dan bahan akan semakin konduktif. Hal ini juga terlihat dengan nilai FWHM yang semakin turun sehingga menunjukkan kualitas kristal yang semakin baik.

Penambahan Fe_2O_3 juga memiliki pengaruh terhadap nilai ferroelektriknya [9]. Nilai ferroelektrik bergantung pada kualitas kristal. Kualitas kristal dapat diamati melalui nilai FWHM yang didapatkan dari XRD. Semakin kecil nilai FWHM, maka kristalnya semakin baik [10].

D. Hasil Pengujian Suseptibilitas

Penelitian ini menggunakan Suseptibilitas untuk mendapatkan nilai konstanta magnet.

Tabel 3

Spesimen	Doping	Temperatur (°C)	Pengujian Suseptibilitas (χ_m)
1	0.2 mol	950	>1
2	0.3 mol	950	>1
3	0.4 mol	950	>1

Berdasarkan data pada Tabel 3 ditunjukkan bahwa semua sampel setelah didoping Fe memiliki nilai konstanta suseptibilitas yang lebih besar dari 1 ($\chi_m > 1$). Sedangkan nilai $PbTiO_3$ tanpa didoping memiliki nilai di bawah 1. Sehingga dapat dikatakan bahwa sifat $PbTiO_3$ setelah didoping Fe_2O_3 berubah dari diamagnetik menjadi ferromagnetik.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan pada proses pembentukan $PbTiO_3$ yang ditambahkan dengan Fe_2O_3 terbukti meningkatkan nilai ferroelektrik dan sifat magnetiknya. Nilai Polarisasi remanensi yang tertinggi dan medan koersif yang tertinggi sebesar 67.29 $\mu C/cm^2$ dan 588 kV/cm terdapat pada $PbTiO_3$ yang didoping 0.4 mol Fe_2O_3 pada temperatur 950°C. Pengaruh penambahan variasi doping Fe_2O_3 pada pembentukan $PbTiO_3$ adalah meningkatkan nilai polarisasi remanensi dan medan koersif dari 541 kV/cm hingga 588 kV/cm dan 16.56 $\mu C/cm^2$ hingga 67.29 $\mu C/cm^2$. Pengaruh kenaikan temperature sintering pada pembentuk $PbTiO_3$ yang didoping Fe_2O_3 adalah menurunkan nilai polarisasi remanensi dan medan koersif dari 588 kV/cm hingga 564kV/cm dan 67.29 $\mu C/cm^2$ hingga 44 $\mu C/cm^2$. $PbTiO_3$ yang ditambahkan Fe_2O_3 dengan konsentrasi 0.2 mol hingga 0.4 mol pada temperatur sintering 950°C hingga 1150°C bersifat ferromagnetik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]J. Wang Jun., X. Pang, M. Akinc and Z. Lin." Synthesis and characterization of perovskite $PbTiO_3$ nanoparticles with solution processability," in Journal of Materials (2010, June), Available://www.rsc.org/materials.
- [2]J. Xue, D. Wan, D., S. Ee Lee and J. Wang, "Mechanochemical synthesis of nanosized lead titanate powders from mixed oxides," J. Am. Ceram. Soc (1999) 1687-1692.
- [3]Z. Zhang, C. Wang, R. Zakaria, J.Y. Ying, "Role of particle size in nanocrystalline TiO_2 -based photocatalysts," J. Phys. Chem. B 102 (1998) 10871-10878.
- [4]F. Nugroho, "Pengaruh Waktu Miling dan Temperatur sintering Terhadap Pembentukan Partikel $PbTiO_3$ Dengan Metode Mechanical Alloying," Tugas Akhir, Jurusan Material dan Metalurgi, Institut Sepuluh Nopember, Surabaya (2013).
- [5]D. Regonini, V. Adamaki, C.R. Bowen, S.R. Pennock, J. Taylor, A.C.E Dent, "AC Electrical Properties of TiO_2 and Magnéli Phases Ti_nO_{2n-1} " in Journal of Elsevier (2012, November), Available ://www.elsevier.com/locate/ssi.
- [6]J.R Smith and F. C. Walsh,"Electrodes Based on Magnel Phase Titanium Oxides : The Properties and Applications of Ebonex Materials". Journal of Electrochemistry (1998)1021-1033.
- [7]B. Subagja, "Pengaruh Variasi Persen Berat Bi dan Pemberian Tekanan Pada Parameter Kisi dan Ukuran Kristal Sistem Material Sn-Cu-Bi dan Sn-Cu," Skripsi, Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Indonesia, Jakarta (2011).
- [8]Nizar,"Studi Pengaruh Tekanan Kompaksi dan Waktu Kalsinasi Terhadap Pelet Zeolit Alam Sebagai Dessicant," Skripsi, Jurusan Material dan Metalurgi, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta (2012).
- [9]G. Prabandari, "Pengaruh perubahan komposisi dan temperatur terhadap resistivitas ferroelektrik $Ba_{1-x}La_xTiO_3$," Skripsi, Jurusan Fisika, Universitas Negeri Malang, Malang (2012).
- [10]C. Wan, "Investigation Of Sputtered Ferroelectric Thin Film On Silicon Substrates," Phd. dissertation, Dept. Electron. Eng., Canegie Mellon University, Pittsburg (2007).