



Analisis Sifat Struktur dan Sifat Listrik pada Material Perovskite $\text{LaFe}_{0.97}\text{Zr}_{0.03}\text{O}_3$: XRD, Raman Scattering, SEM dan Impedansi Spectroskopi

Ismi Purnamasari¹

Jurnal Konstruksi
Sekolah Tinggi Teknologi Garut
Jl. Mayor Syamsu No. 1 Jayaraga Garut 44151 Indonesia
Email : jurnal@itg.ac.id

¹ismi.purnamasari@itg.ac.id

Abstrak – *Lanthanum Orthoferrite* (LaFeO_3) merupakan salah satu material *perovskite oxide* ABO_3 dengan struktur ortorombik. Pada penelitian ini telah disintesis LaFeO_3 yang disubstitusi Zr pada situs Fe ($\text{LaFe}_{0.97}\text{Zr}_{0.03}\text{O}_3$) yang dipreparasi dengan teknik sol-gel. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis sifat struktur kristal dan listrik material $\text{LaFe}_{0.97}\text{Zr}_{0.03}\text{O}_3$. $\text{LaFe}_{0.97}\text{Zr}_{0.03}\text{O}_3$ yang telah dipreparasi, diuji menggunakan XRD menunjukkan sampel yang *single phase*, struktur Orthorhombic dan *space group* Pbnm. Hasil uji SEM menunjukkan bahwa penambahan jumlah Zr menyebabkan rata-rata ukuran *grain* menurun yang konsisten dengan hasil dari XRD. Uji listrik pada material dilakukan dengan menggunakan metode *impedance spectroscopy* sebagai fungsi frekuensi (100Hz –1 MHz) dengan menggunakan RLC meter. Data IS disajikan dalam bentuk Nyquist Plot dan Bode Plot, yang digunakan untuk mengidentifikasi parameter rangkaian yang ekuivalen beserta nilainya. Hasil uji dengan RLC meter menunjukkan diameter semi-sirkular menurun seiring peningkatan temperatur, mengindikasikan material ini bersifat semikonduktor serta adanya peningkatan konduktivitas pada sampel dan penurunan nilai resistansi.

Kata Kunci – $\text{LaFe}_{0.97}\text{Zr}_{0.03}\text{O}_3$, Listrik, Perovskite, Sol-gel, Sifat Struktur.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Material ferroelektrik adalah salah satu jenis material yang memiliki peranan penting di dunia teknologi. Ferroelektrik adalah gejala terjadinya perubahan polarisasi listrik secara spontan pada material tanpa adanya gangguan medan listrik dari luar [1]. Struktur perovskite termasuk salah satu struktur yang menunjukkan adanya polarisasi spontan pada temperature tertentu [2]. *Perovskite oxide* memiliki struktur kimia dengan rumus umum ABO_3 dimana situs-A diisi oleh kation yang lebih besar jari-jarinya daripada kation di situs-B [3]. Lantanida Ln (La, Sm, Nd, Pr, etc.) dalam struktur perovskite telah menunjukkan fungsi yang baik sebagai bahan ferroelektrik dengan aplikasinya sebagai *Solid Oxide Fuel Cell* (SOFC) dan sensor gas [4], [5]. Disamping itu, material LaFeO_3 (LFO) telah mendapat banyak perhatian karena memiliki berbagai karakteristik yang menarik seperti pada *sifat* elektronik, dielektrik, magnet, pemurnian gas, elastic, pembakaran, katalitik, anoda aktif untuk solar sel, elektrokatalis untuk baterai, fotoelektrokimia, dan sifat fotokatalitik. LaFeO_3 juga memiliki sifat multifungsi yang telah menarik perhatian cukup besar karena aplikasi yang menjanjikan dalam teknologi canggih seperti solar sel, sensor gas, elektrolit padat, superkonduktor, dan katalis. Pengaplikasian material sebagai SOFC saat ini lebih banyak beroperasi menggunakan temperature ekstrim (800-1000 °C) dengan penggunaan material perovskite LaFeO_3 , diharapkan bisa menggunakan temperature pada rentang yang lebih rendah (seperti 500-800°C) namun tetap dapat menghasilkan sifat konduktivitas dan dielektrik yang baik. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh pembuatan sample perovskite yang diharapkan akan memiliki sifat-sifat yang lebih baik dari sample base nya.

Substitusi pada situs A dan/atau B diamati dapat menghasilkan sifat-sifat yang berbeda dibandingkan dengan material murninya (ABO_3). Berbagai jenis substitusi telah dipelajari, misalnya, $La_{1/3}Sr_{2/3}FeO_{3-\delta}$, $La_{1-x}Zn_xFeO_3$, $La_{0.5}Al_{0.5}FeO_3$, $La_{1-x}Ca_xFeO_{3-\delta}$, $LaZn_xFe_{1-x}O_3$ dan $La_{0.8}Sr_{0.2}Fe_{1-x}Cu_xO_{3-\delta}$. Substitusi tersebut menunjukkan sifat menarik dari material listrik seperti konstanta dielektrik tinggi, *dielektrik loss* rendah, konduktivitas listrik tinggi, kestabilan suhu, feroelektrik atau piezoelektrik. Oleh karena itu, substitusi ion divalen atau trivalen ke dalam sub-kisi La atau Fe telah secara khusus diselidiki untuk pengembangan sifat-sifat tersebut [6]. Selain itu, penelitian material $LaFeO_3$ yang di doping pun telah dilakukan oleh Sumalin Phokha dkk yaitu dengan mensintesis material $LaFeTiO_3$ untuk mengetahui sifat struktur, magnetik dan dielektrik. Hasilnya mengatakan bahwa sampel memiliki struktur orthorhombik dengan sifat magnetiknya yang meningkat ketika konsentrasi Ti dinaikkan serta sifat dielektrik sebagai fungsi frekuensi pada suhu rendah menunjukkan adanya polarisasi dalam sampel karena elektron melompat antara ion Fe^{3+} dan Fe^{4+} [6].

Disamping itu, dalam pendopingan Zr pun telah dilakukan oleh A.M Abdalla *et al* (2017) pada perovskite lantanida ferrite yaitu $SmFeO_3$ menunjukkan penambahan Zr meningkatkan tingkat porositas dalam sampel yang disinter [4]. Oleh karena itu, direkomendasikan bahwa bahan ini dapat digunakan untuk sensor oksigen dan aplikasi elektroda SOFC tergantung pada konduktivitas elektrokimia dan listriknya dengan stabilitas kimia dan termal yang baik. Kemudian, mikrostruktur yang diperoleh memberikan stabilitas yang sangat baik dan reversibilitas proses penyimpanan oksigen. Oleh karena itu, sangat mudah untuk memprediksi terjadinya transportasi yang tinggi dalam SFZO oksida karena porositas meningkat tanpa menambahkan bekas pori.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang dipaparkan tersebut, diketahui bahwa substitusi Ti di situs B pada material $LaFeO_3$ dan substitusi Zr pada $SmFeO_3$ dapat meningkatkan *electrical properties*, sifat optik dan magnetisasi. Oleh karena itu, pada penelitian ini penulis tertarik untuk melakukan studi preparasi dan karakterisasi sifat material $LaFeO_3$ dengan substitusi Zr^{4+} pada site-B yang belum pernah dilakukan sebelumnya. Preparasi material $LaFe_{1-x}Zr_xO_3$ ($x = 0.03$) dilakukan dengan menggunakan metode sintesis sol-gel untuk mendapatkan material $LaFe_{1-x}Zr_xO_3$ *Single phase*. Hasil preparasi material $LaFeZrO_3$ telah dikarakterisasi pada sifat struktur menggunakan XRD, Raman, EDX, dan SEM. Kemudian, karakterisasi sifat listrik menggunakan RLC meter dengan menggunakan spektroskopi impedansi.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan latarbelakang penelitian dapat diidentifikasi semakin canggihnya teknologi menuntut pada perkembangan sumber energy alternatif yang lebih efisien. Saat ini, aplikasi SOFC lebih banyak beroperasi menggunakan suhu ekstrim pada rentang 800-1000°C. Oleh Karena itu diperlakukan perlakuan untuk dapat digunakan pada suhu intermediet sekitar 100-800°C dengan menggunakan material basis $LaFeO_3$. Penggunaan variasi doping oleh zirconium dengan bilangan oksidasi tetravalent terhadap material $LaFeO_3$ belum pernah dilakukan. Substitusi zirconium yang termasuk unsur transisi, nomor atom 40 dan massa relative 91.22 yang meleleh pada suhu 1852°C diharapkan dapat meningkatkan stabilitas kerja dari material $LaFeO_3$ sebagai SOFC.

C. Tujuan Penelitian

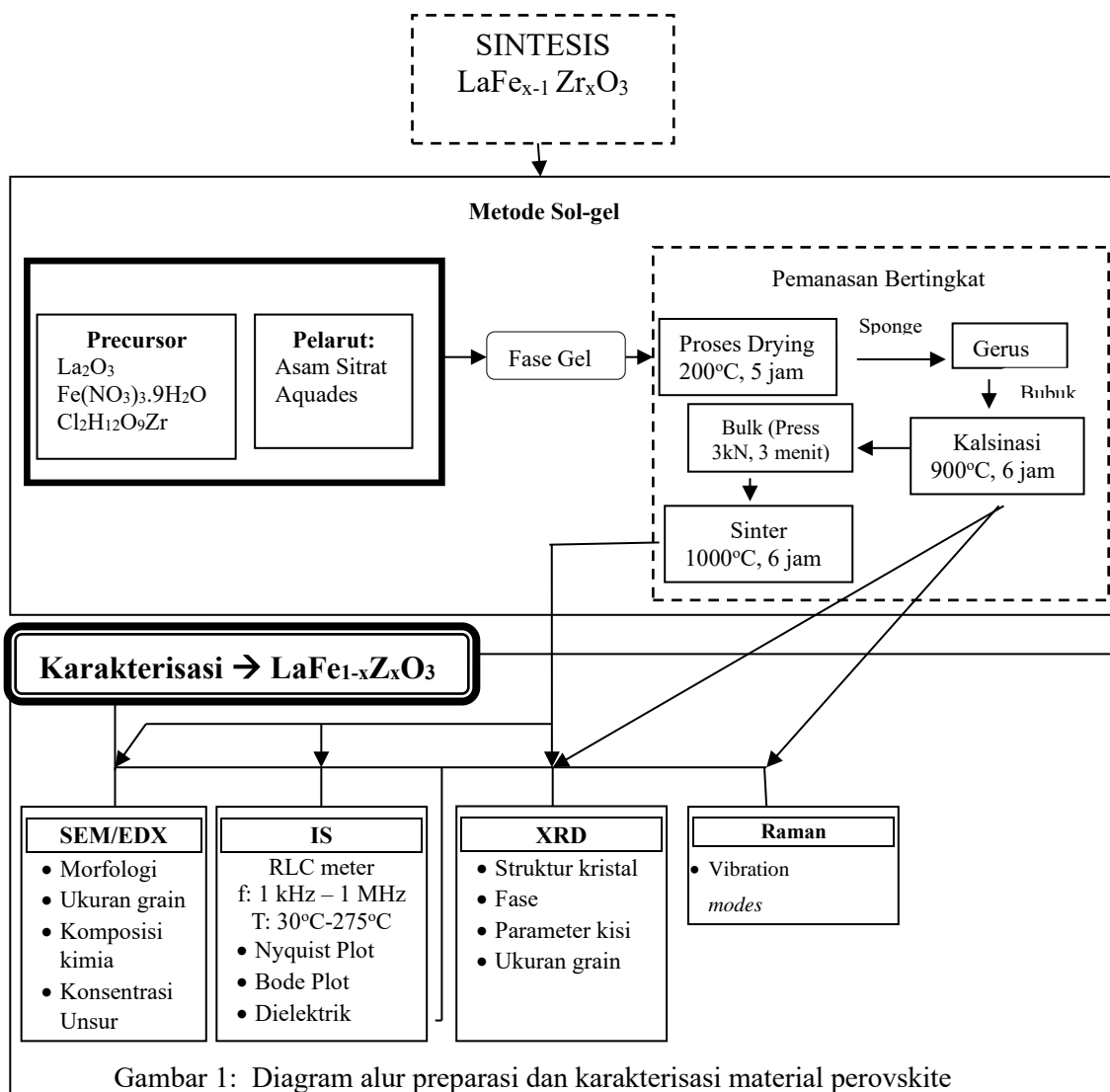
Berdasarkan rumusan masalah yang telah diungkapkan diatas, maka yang menjadi tujuan penelitian ini adalah

1. Menganalisis sifat struktur pada $LaFe_{0.97}Zr_{0.03}O_3$
2. Menganalisis Morfologi pada $LaFe_{0.97}Zr_{0.03}O_3$
3. Menganalisis sifat listrik pada $LaFe_{0.97}Zr_{0.03}O_3$

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Alur Penelitian

Langkah-langkah penelitian ditunjukkan pada diagram alur dibawah ini. Diagram tersebut menunjukkan proses preparasi material $\text{LaFe}_{x-1}\text{Zr}_x\text{O}_3$ ($x=0.01, 0.03$ dan 0.05) dimulai dari pembuatan sampel sampai karakterisasi sifat-sifat dari material.



B. Sintesis Material

$\text{LaFe}_{0.97}\text{Zr}_{0.03}\text{O}_3$ telah disintesis menggunakan metode *sol-gel* dengan bahan-bahan *Lanthanum Oxide* (La_2O_3 Merck 99.9%), *Zirconyl Chloride Octahydrate* ($\text{Cl}_2\text{H}_{12}\text{O}_9\text{Zr}$ Merck 99.9%), *Ferrite Nitrate Nonahydrate* ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ Merck 99.9%), *Citric Acid Monohydrate* ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ Merck 99.5%). Bahan-bahan tersebut kemudian dilarutkan dalam 150 ml akuades dan 15 gram asam sitrat. Setelah itu, larutan diaduk dan dipanaskan pada suhu 80°C dengan 700 rpm selama ± 14 jam sampai membentuk fase gel. Material fase gel tersebut, kemudian di keringkan pada suhu 200°C (*drying*) selama 5 jam yang menyebabkan fase *gel* berubah menjadi fase *sponge*. Kemudian sample fase *sponge* ini digerus sampai menjadi fase bubuk (*powder*). Selanjutnya dikalsinasi pada temperatur 900°C selama 6 jam. Sampel bubuk hasil dari kalsinasi tersebut ditekan 3 KN selama 3 menit sehingga membentuk bulk dengan diameter ± 10 mm. Bulk kemudian disinter selama 6 jam pada suhu 1000°C sehingga membentuk sampel nanopartikel.

C. Karakterisasi Materisl

Material $\text{LaFe}_{0.97}\text{Zr}_{0.03}\text{O}_3$ yang telah disintesis menghasilkan 2 bentuk sampel, yaitu *powder* (bubuk) dan *bulk* (pellet). Sampel *powder* diuji karakterisasi berupa XRD, Raman. Sampel *bulk* diuji karakterisasi berupa XRD, SEM, EDX, dan RLC Meter.

1. Karakterisasi Struktur dengan XRD

Struktur kristal, fase, parameter kisi, dan ukuran kristal pada material berbentuk *powder* dan *bulk* dapat diidentifikasi dengan melakukan uji karakterisasi menggunakan alat XRD merk *X'Pert PRO Panalytical* yang memiliki sumber radiasi $\text{Cu K}\alpha$ ($\lambda = 1.5418\text{\AA}$) pada rentang sudut $20^\circ \leq 2\theta \leq 80^\circ$ dengan *step/time* 0.02° . Data yang diperoleh oleh XRD kemudian diolah menggunakan *software fullprof* dan dilakukan tahapan *Rietveld refinement* untuk memperoleh keterangan struktur kristal, *space group*, parameter kisi, ukuran kristal, volume, densitas sampel, posisi Wyckoff dari sampel *powder* maupun *bulk*.

2. Karakterisasi SEM-EDX

SEM *QuantaChrome FEI 650* dan EDX digunakan untuk menganalisis mikrostruktur dan komposisi elemen pada permukaan sampel. Morfologi material diuji dengan teknik pengukuran SEM, pengukuran SEM menggunakan sampel hasil *bulk* yang sebelumnya *dicoating* dengan *selotipe* karbon agar material ketika diuji tidak *charging*. Perbesaran pengukuran yang digunakan adalah 50000x. Besar energi yang digunakan yaitu 10 kV, kemudian untuk mencari distribusi *grain* dari sampel uji pada penelitian ini digunakan *software ImageJ*. EDX digunakan untuk mengetahui besar sebaran dari elemen penyusun sampel pada setiap *grain*. Data hasil yang didapatkan dari pengujian EDX yaitu besar persen massa.

3. Karakterisasi Raman Spectroscopy (Raman)

Uji karakterisasi Raman yang dilakukan pada sampel *powder* untuk mengetahui Raman *modes* dan mengetahui kaitan dengan perubahan parameter struktural. Spektroskopi Raman yang digunakan dengan spesifikasi alat *Renishaw inVia Raman System* dengan parameter Nd: YAG Laser 532 nm (2400 grating/nm) dengan kekuatan laser 5mW. Data Raman shift yang diperoleh kemudian difitting dengan menggunakan *software PeakFit* untuk mengetahui puncak-puncak dan mode yang berkaitan dengan Raman *shift* (pergeseran Raman) yang kemudian dapat dihubungkan dengan perubahan pada parameter struktural hasil uji XRD.

4. Karakterisasi Sifat Listrik Material

Metode spektroskopi impedansi dengan alat ukur RLC Meter variasi temperatur berbeda digunakan untuk uji sifat listrik. Alat yang digunakan adalah RCL-meter FLUKE-PM6306 pada rentang frekuensi antara 0.1 kHz – 1000 Hz dan temperatur antara $30^\circ\text{--}275^\circ\text{C}$ dan dianalisis menggunakan metode spektroskopi impedansi. Permukaan sampel *bulk* di lapisi dengan karbon yang dimodelkan sebagai kapasitor keping sejajar. Impedansi absolut $|Z|$ dan sudut fase (φ) diukur menggunakan RLC-meter sebagai fungsi temperatur dan frekuensi. Nyquist plot dan Bode plot mempresentasikan hasil data impedansi untuk mengidentifikasi parameter elektrik. Sifat dielektrik untuk material ini dianalisis menggunakan metode *parallel plate* (keping sejajar) pada data impedansi. Sedangkan nilai dari sifat dielektrik untuk material ini di analisis menggunakan metode *parallel plate* (keping sejajar) pada data impedansi.

D. Tempat Penelitian

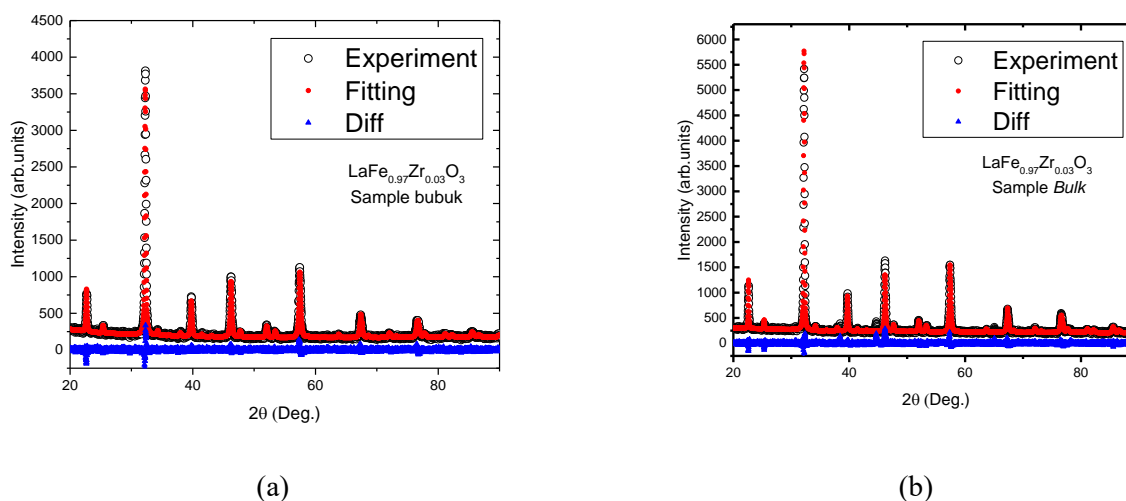
Tabel 1: Tempat pelaksanaan kegiatan penelitian material perovskite $\text{LaFe}_{1-x}\text{Zr}_x\text{O}$

Tempat Pelaksanaan	Preparasi Sampel	Bulk	Coating	XRD, RLC meter, Raman	SEM & EDX
Laboratorium UPP-IPD FMIPA-UI	√			√	
CMPFA -Fakultas Teknik UI					√
Lab. Departemen Fisika		√			
ILRC (Integrated lab and research centre)			√		

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakterisasi XRD

Pada penelitian ini telah mengkarakterisasi sifat struktur dengan uji XRD pada sampel bentuk *powder* (bubuk) serta *bulk* (*pellet*). Gambar 2 (a) adalah spektra XRD material bubuk dan gambar 2 (b) untuk *bulk* material $\text{LaFe}_{0.97}\text{Zr}_{0.03}\text{O}_3$ yang dikalsinasi pada suhu 900°C dan disinter pada suhu 1000°C . Struktur kristal dianalisis menggunakan program *Fullprof*. Hasil analisis *Rietveld* menunjukkan bahwa sampel tidak memiliki fase lain (*impuritas*) dan menunjukkan puncak yang konsisten dengan struktur orthorhombik dengan *space group* *Pbnm* yang direpresentasikan dengan nilai puncak pada bidang *hkl* (101), (121), (220), (202), (222), (240), dan (204) juga diketahui bahwa puncak dengan intensitas tertinggi terletak pada bidang *hkl* (121). Intensitas dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya yaitu faktor hamburan dari sinar X pada arah Bragg. Jika faktor hamburan besar maka intensitasnya besar.

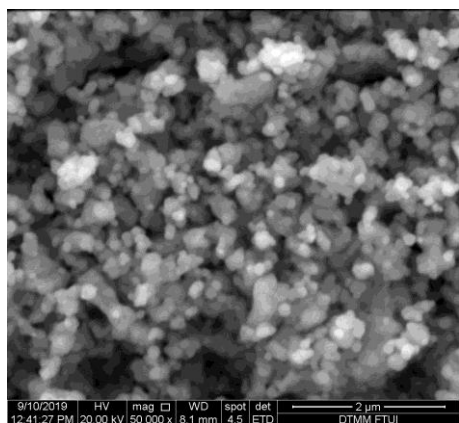


Gambar 2: Hasil fitting XRD $\text{LaFe}_{0.97}\text{Zr}_{0.03}\text{O}_3$ pada sampel (a) powder, (b) bulk

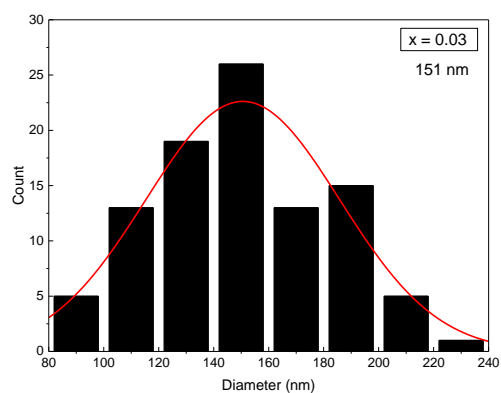
Pada gambar diatas dapat dilihat hasil parameter fitting menunjukkan kesesuaian yang baik dengan difraktogram eksperimental yang ditampilkan dengan nilai yang rendah dari parameter R_{wp} , R_p dan goodness of fit (GOF). Hasil fitting pada sampel menunjukkan nilai GOF (χ^2) adalah 1.04.

B. Mikrostruktur, Karakterisasi SEM-EDX

Uji karakterisasi SEM berfungsi untuk mendapatkan informasi mengenai morfologi permukaan dan ukuran *grain* sampel. Pengujian dilakukan pada mikrostruktur pada sampel *bulk* $\text{LaFe}_{0.97}\text{Zr}_{0.03}\text{O}_3$ yang telah disinter. Hasil informasi diperoleh dengan menganalisis gambar SEM menggunakan *software ImageJ*. Gambar 3 merupakan visualisasi permukaan dari *secondary image* (LFD) pada sampel *bulk*. Pengukuran gambar tersebut dilakukan dengan perbesaran 50.000x di setiap sampelnya. Dari gambar terlihat bahwa sampel menunjukkan bentuk *grain* yang hampir homogen (seragam) yang terdistribusi pada permukaan sampel. Namun, pada bagian tertentu terlihat *spherical grain* yang hampir berkerumun atau mengalami aglomerasi. Warna terang dan gelap berturut-turut merupakan butir-butir serbuk dan porositas. Porositas adalah volume atau bagian kosong pada material. Gambar 3 (a,b) merupakan distribusi *grain* untuk sampel *bulk* $\text{LaFe}_{0.97}\text{Zr}_{0.03}\text{O}_3$. Tampak bahwa rata-rata ukuran *grain* untuk sampel $\text{LaFe}_{0.97}\text{Zr}_{0.03}\text{O}_3$ adalah 151 nm diperoleh dari hasil kalkulasi menggunakan Gaussian fitting.



(a)

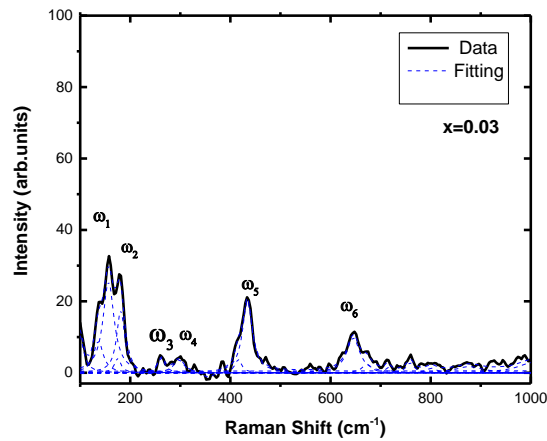


(b)

Gambar 1: SEM micrograph (a) dan distribusi grain (b) pada sampel *bulk* $\text{LaFe}_{1-x}\text{Zr}_x\text{O}_3$ ($x=0.01, 0.03, 0.05$)

C. Karakterisasi Raman

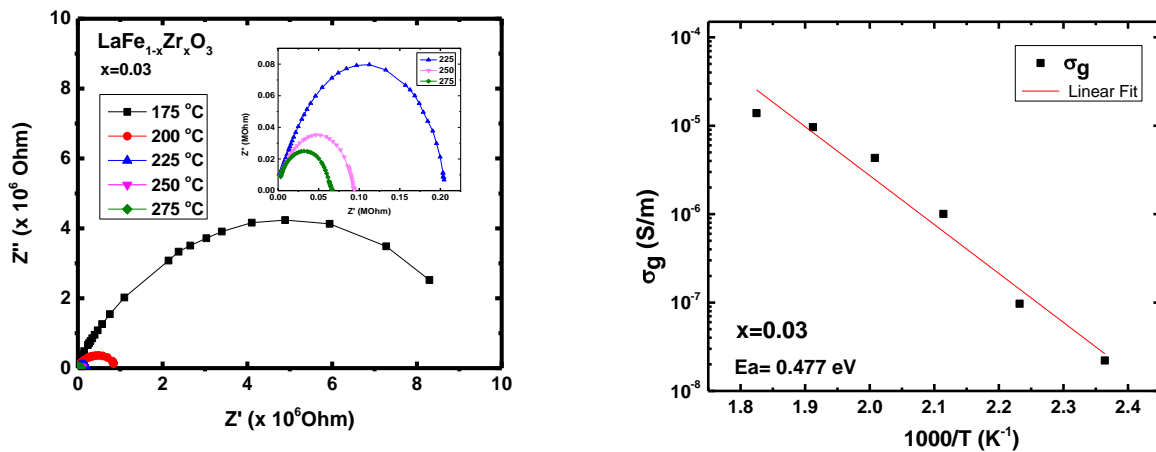
Spektroskopi Raman digunakan untuk uji karakterisasi pada sampel $\text{LaFe}_{0.97}\text{Zr}_{0.03}\text{O}_3$ berbentuk *powder*. Uji karakterisasi tersebut dilakukan untuk mengetahui sifat optis dan perubahan fase struktural pada material berkaitan dengan perubahan parameter yang ditandai dengan adanya *raman mode* [7], [8]. Gambar 4 menunjukkan spektrum Raman pada suhu kamar dari material $\text{LaFe}_{0.97}\text{Zr}_{0.03}\text{O}_3$. *Raman modes* yang ditampilkan juga serupa dan fit dengan sampel yang telah dilaporkan sebelumnya untuk $x = 0.03$ yang memiliki struktur *orthorhombic* dan *Pbmn space group*.



Gambar 4: Hasil *peak-fit* uji Raman sampel powder material perovskite $\text{LaFe}_{0.97}\text{Zr}_{0.03}\text{O}_3$

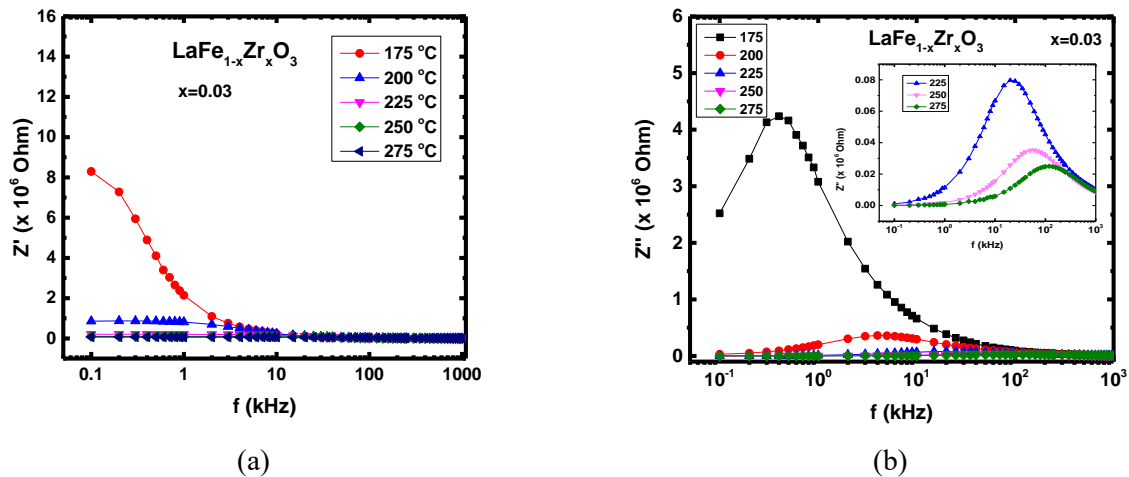
D. Sifat listrik $\text{LaFe}_{0.97}\text{Zr}_{0.03}\text{O}_3$

1. Analisis Impedansi spectroscopy



Gambar 5: Nyquist plot dan Konduktivitas DC (σ_g) terhadap temperature pada sampel $\text{LaFe}_{0.97}\text{Zr}_{0.03}\text{O}_3$

Pada gambar 5 menunjukkan penurunan diameter semisirkular seiring meningkatnya temperature. Gambar tersebut juga menunjukkan nilai konduktivitas (σ_g) untuk menentukan nilai energy aktivasi. Aktivasi energi pada proses tersebut merupakan energi yang di butuhkan untuk membuat ion oksigen bergerak dari satu posisi ke posisi stabil yang terdekat.



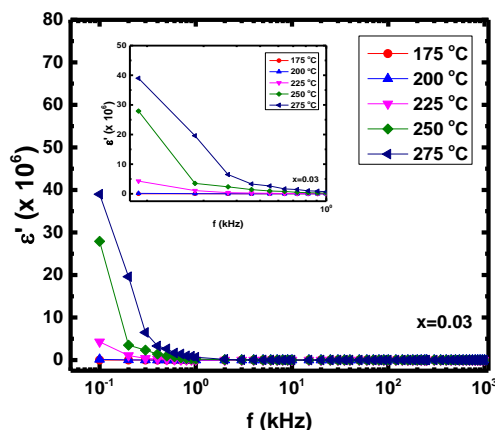
Gambar 6: Bode plot Z' vs f (a) dan Bode plot Z'' vs f (b) sampel bulk $\text{LaFe}_{0.97}\text{Zr}_{0.03}\text{O}_3$

Gambar 6 (a) menunjukkan Bode plot dari real impedansi (Z'). Sampel menunjukkan *trend* Z' menurun terhadap peningkatan frekuensi dan menjadi independen pada frekuensi tinggi. Grafik tersebut juga menunjukkan bahwa Z' menurun terhadap peningkatan temperature menunjukkan adanya peningkatan konduktivitas ac pada region frekuensi tinggi [8]. Nilai Z' yang tinggi pada frekuensi rendah mengindikasikan adanya polarisasi *space charge* pada sampel. Nilai Z' pada akhirnya menyatu untuk semua temperatur pada frekuensi tinggi yang menunjukkan adanya pelepasan *space charge* dan penurunan konsekuen sifat barrier pada material [8].

Gambar 6 (b) menunjukkan hubungan impedansi imajiner (Z'') dengan frekuensi pada temperatur tertentu untuk semua sampel. Pada gambar tersebut terlihat puncak pada fekuensi karakteristik (f_{maks}) dan menggambarkan relaksasi dari pembawa muatan terhadap medan listrik ac yang diberikan. Puncak tidak simetri pada gambar dan melebar dengan meningkatnya temperatur, puncak relaksasi menurun dan bergeser ke frekuensi lebih tinggi yang menunjukkan bahwa relaksasi bergantung pada aktivasi termal pembawa muatan.

2. Analisis Dielektric

Sifat dielektri pada material $\text{LaFe}_{0.97}\text{Zr}_{0.03}\text{O}_3$ dapat dianalisis melalui nilai konstanta dielektri (ϵ') yang di plot terhadap frekuensi pada temperarute berbeda terlihat pada gambar 7. Pada gambar menunjukan bahwa nilai konstanta dielektrik meningkat seiring peningkatan temperatur, karena polarisasi *space charge* hasil dari mobilitas ion dan *defect* pada material[9]. Nilai konstanta dielektrik menurun seiring dengan peningkatan frekuensi dan independen pada frekuensi tinggi. Penurunan tersebut termasuk peristiwa relaksasi dielektrik [10]. Konstanta dielektrik tetap konstan pada frekuensi tinggi dan menurun tajam saat frekuensi rendah yang. Hal ini dapat dikaitkan dengan dipol yang didapatkan dari perubahan keadaan valensi kation dan *space charge polarization*. Pada frekuensi yang lebih tinggi, konstanta dielektrik tetap independen dari frekuensi karena ketidakmampuan dipol listrik untuk mengikuti medan listrik yang diterapkan secara bolak-balik. Nilai-nilai independen frekuensi ini dikenal sebagai nilai statis konstanta dielektrik [11]–[13].



Gambar 7; Konstanta dielektrik (ϵ') pada sampel *bulk* $\text{LaFe}_{0.97}\text{Zr}_{0.03}\text{O}_3$

IV. KESIMPULAN

1. Material $\text{LaFe}_{0.97}\text{Zr}_{0.03}\text{O}_3$ berhasil disintesis menggunakan metode sol-gel dan sampel menunjukkan fase tunggal dengan struktur kristal orthorhombik dan *space group* Pbnm.
2. Pada pengukuran SEM dan dianalisis menggunakan *software ImageJ* mengkonfirmasi morfologi sampel.
3. Sifat listrik menunjukkan bahwa sample merupakan tipe material semikonduktor. Sample pun menunjukkan adanya peningkatan pada konduktivitas AC. Selain itu menurunnya nilai Z' dengan meningkatnya frekuensi mengindikasikan adanya proses relaksasi dielektrik pada sampel dan nilai Z' bergabung pada frekuensi tinggi untuk semua sampel dikarenakan adanya pelepasan *space charge polarization*. Hasil uji RLC meter menunjukkan adanya peningkatan konduktivitas pada sampel dan penurunan nilai resistansi berkorespondensi dengan *grain size* hasil uji SEM.

UCAPAN TERIMA KASIH

I.P mengucapkan terima kasih kepada Universitas Indonesia yang telah memberikan dukungan finansial melalui Hibah Penelitian dan Terimakasih kepada Institut teknologi Garut yang telah memfasilitasi sehingga penulis dapat menyelesaikan jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Sunandar, *PENUMBUHAN FILM $\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x}\text{TiO}_3$ DAN BaFeSrTiO_3 DAN OBSERVASI SIFAT FERROELEKTRIKNYA*. 2006.
- [2] E. Aksel, "Structure and Properties of Sodium Bismuth Titanate Ferroelectric Ceramics," *Mater. Sci. Eng.*, vol. Ph.D., p. 204, 2012, [Online]. Available: <http://ufdc.ufl.edu/UFE0043928/00001>.
- [3] RichaRd J. d. Tilley, *Perovskites Structure-Property Relationships*, First., no. c. Cardiff University, UK: SPi Global, Pondicherry, india, 2016.
- [4] A. Abdalla, S. Hossain, P. Petra, and A. Azad, "Effect of Zr addition on structure and electrical properties of SmFeO_3 prepared by solid state reaction method," *Process. Appl. Ceram.*, vol. 11, no. 4, pp. 275–281, 2018, doi: 10.2298/pac1704275a.
- [5] W. Fan, Z. Sun, J. Wang, J. Zhou, K. Wu, and Y. Cheng, "A new family of Ce-doped SmFeO_3 perovskite for application in symmetrical solid oxide fuel cells," *J. Power Sources*, vol. 312, pp. 223–233, 2016,

- doi: 10.1016/j.jpowsour.2016.02.069.
- [6] S. Phokha, S. Hunpratup, S. Pinitsoontorn, and B. Putasaeng, "Structure, magnetic, and dielectric properties of Ti-doped LaFeO₃ ceramics synthesized by polymer pyrolysis method," *Mater. Res. Bull.*, vol. 67, pp. 118–125, 2015, doi: 10.1016/j.materresbull.2015.03.008.
- [7] A. Mitra, A. S. Mahapatra, A. Mallick, A. Shaw, M. Ghosh, and P. K. Chakrabarti, "Simultaneous enhancement of magnetic and ferroelectric properties of LaFeO₃ by co-doping with Dy³⁺ and Ti⁴⁺," *J. Alloys Compd.*, vol. 726, pp. 1195–1204, 2017, doi: 10.1016/j.jallcom.2017.08.074.
- [8] A. Benali, M. Bejar, E. Dhahri, M. Sajieddine, M. P. F. Graça, and M. A. Valente, "Magnetic, Raman and Mössbauer properties of double-doping LaFeO₃ perovskite oxides," *Mater. Chem. Phys.*, vol. 149, no. January, pp. 467–472, 2015, doi: 10.1016/j.matchemphys.2014.10.047.
- [9] A. Kaur, L. Singh, and K. Asokan, "Electrical relaxation and conduction mechanisms in iron doped barium strontium titanate," *Ceram. Int.*, vol. 44, no. 4, pp. 3751–3759, 2018, doi: 10.1016/j.ceramint.2017.11.158.
- [10] B. K. F. N. O, S. Dash, R. N. P. Choudhary, P. R. Das, and A. Kumar, "Structural, dielectric, and multiferroic properties of," vol. 744, no. December 2014, pp. 738–744, 2015, doi: 10.1139/CJP-2014-0025.
- [11] S. . Khetre, H. . Jadhav, P. . Jagadale, S. . Kulal, and S. . Bamane, "Studies on electrical and dielectric properties of LaFeO₃," *Pelagia Res. Libr.*, vol. 2, no. 4, pp. 503–511, 2011.
- [12] S. Irfan *et al.*, "The Gadolinium (Gd³⁺) and Tin (Sn⁴⁺) Co-doped BiFeO₃ Nanoparticles as New Solar Light Active Photocatalyst," *Sci. Rep.*, vol. 7, no. August 2016, pp. 1–12, 2017, doi: 10.1038/srep42493.
- [13] D. R. Patil *et al.*, "Studies on electrical and dielectric properties of Ba_{1-x}Sr_xTiO₃," *Mater. Chem. Phys.*, vol. 104, no. 2–3, pp. 254–257, 2007, doi: 10.1016/j.matchemphys.2007.02.027.