

# Sifat Magnetoelektrik pada Material Keramik Berbasis Ferrite

Dwita Suastiyanti<sup>1,a)</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin ITI ,  
Jl. Raya Puspipitek Serpong, Tangerang Selatan-Banten, Indonesia, 15320

<sup>a)</sup> dwita.suastiyanti@iti.ac.id

## Abstrak

Material *multiferroic* adalah kelas dari material yang menampilkan dua atau lebih fasa *ferroic*, yaitu feroelektrik, feromagnetik, feroelastisitas, dan ferotoroidisitas. Aplikasi dari material ini adalah untuk divais penyimpanan informasi/data (*ultimate memory device*). Kualitas material *multiferroic* ditentukan oleh sifat magnetoelektrik yang dimiliki material tersebut. Jika material diberikan efek medan magnet luar maka akan muncul respons berupa tegangan listrik. Kegiatan sintesis material *multiferroic* dari material keramik berbasis *ferrite* ( $\text{BiFeO}_3$ ), menggunakan metode *sol-gel* dengan temperatur kalsinasi 210 dan 230°C selama 4 jam dan temperatur sinter 560°C selama 4, 6, dan 8 jam. Karakterisasi dilakukan dengan uji *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengkonfirmasi jenis fasa dan uji sifat magnetoelektrik. Serbuk dengan temperatur kalsinasi 230°C dan temperatur sinter 560°C selama 8 jam menunjukkan respons tegangan listrik yang paling besar (sekitar 220 volt) meskipun efek medan magnet yang diberikan kecil (160 Gauss). Respons tegangan listrik yang paling besar tersebut ternyata ditunjukkan oleh material keramik yang mempunyai fasa tunggal  $\text{BiFeO}_3$  (tidak mengandung fasa impuritas).

**Kata kunci:** *magnetoelektrik, multiferroic, tegangan listrik, medan magnet, ferrite.*

## Abstract

*Multiferroic material is a class of materials that display two or more phases ferroic, namely ferroelectric, ferromagnetic, ferelasticity, and ferrotoroidicity. Application of this material is for information storage/data (ultimate memory device). Multiferroic material quality is determined by magnetoelectricity properties. If the material is given the effect of the external magnetic field, it will display a response in the form of an electric voltage. Synthesize of multiferroic material based on ferrite ceramic material ( $\text{BiFeO}_3$ ), use sol-gel method with calcination temperatures of 210 and 230°C for 4 hours and the sintering temperature of 560°C for 4, 6, and 8 hours. Characterization has already been done by using X-Ray Diffraction (XRD) test to confirm the phase type and magnetoelektrik properties test. Powder with calcination temperature of 230°C and sintering temperature of 560°C for 8 hours show the greatest response of the electric voltage (approximately 220 volts) even though the magnetic field effect given is too low (160 Gauss). The electric volatage greatest response is indicated by a ceramic material that has single phase of  $\text{BiFeO}_3$  (no impurity phases).*

**Keywords:** *magnetoelectric, multiferroic, electric voltage, magnetic field, ferrite.*

## I. PENDAHULUAN

Seiring dengan terus berkembangnya tuntutan akan kebutuhan instrumen teknologi tinggi, banyak cara telah dilakukan untuk membuat media penyimpanan data yang cepat dan hemat energi. Belakangan sudah ada media penyimpanan secara magnetik yang biasa disebut MRAM. Pada MRAM data ditulis dengan menukar keadaan magnetik pada aplikasi dari medan magnet ketika membaca data [1]. Sebagai ferromagnet kuat, material dalam MRAM memiliki koersivitas tinggi sehingga membutuhkan medan magnet yang besar untuk menukar keadaan dan tentunya jumlah energi yang besar pula. Sebaliknya, media penyimpanan feroelektrik (FeRAM) lebih cepat dalam menulis dengan pertukaran polarisasi dan energi yang efisien. Tapi yang masih disayangkan dari FeRAM adalah ukuran yang terbatas dan kemampuan membaca data yang lambat [2], menjadikan media penyimpanan ini dirasa belum sempurna. Oleh karena itu, media penyimpanan dengan fungsi terbaik itu

sebenarnya harus memiliki kemampuan menulis seperti FeRAM dan membaca seperti MRAM, dimana terjadi peningkatan dalam kecepatan menulis dan menurunkan konsumsi energi. Ini artinya langkah awal perancangan "*ultimate memory device*".

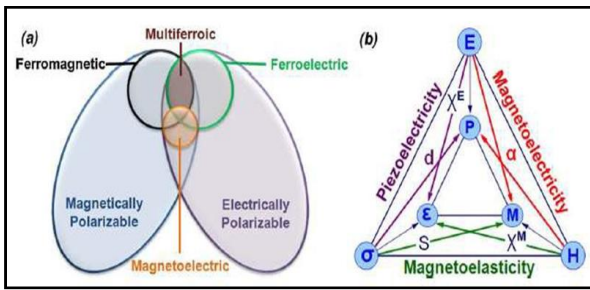
Beberapa tahun terakhir sedang maraknya penelitian tentang material *multiferroic*. Material *multiferroic* adalah kelas dari material yang menampilkan dua atau lebih fase *ferroic*, yaitu feroelektrik, feromagnetik, feroelastisitas, dan ferotoroidisitas. Beberapa penelitian difokuskan pada bahan yang menggabungkan sifat magnetik dan feroelektrik [3]. Oleh karena itu, material dengan bahan feroelektrik-magnetik biasa disebut dengan istilah *multiferroic*. Sifat magnetoelektrik (respons listrik akan timbul jika material diberi efek medan magnet luar dan sebaliknya) merupakan ciri dari material *multiferroic*. Sifat magnetik dihasilkan oleh interaksi pertukaran antar dipole magnetik yang berasal dari kulit orbital terisi elektron. Sedangkan sifat elektrik terjadi

akibat adanya dipol listrik lokal [4]. Dengan material *multiferroic* ini, tiap unsur media penyimpanan tidak hanya ditempatkan pada dua keadaan melainkan empat keadaan, dua keadaan polarisasi listrik dan dua keadaan magnetisasi [5].

Salah satu material keramik berbasis *ferrite* yaitu *bismuth ferrite* ( $\text{BiFeO}_3/\text{BFO}$ ) memiliki keistimewaan menarik yaitu kopel magnetoelektrik memungkinkan manipulasi dari polarisasi feroelektrik oleh medan magnet atau kontrol dari orientasi vektor antiferromagnetik oleh medan listrik. Hal ini sangat menarik untuk perangkat spintronik, karena dapat mengontrol magnetisasi dari feromagnet, menukarkan kopel ke sebuah feroelektrik antiferromagnet melewati medan listrik [6]. *Bismuth Ferrite* atau BFO merupakan material yang menunjukkan koeksistensi feroelektrik dan antiferromagnetik pada suhu kamar [7]. Pada suhu ruang, BFO memiliki struktur *perovskite rhombohedral* dengan grup ruang R3c. Ion-ion Bi dan O secara bersama membentuk bangunan *cubic close packing* dengan ion Fe menempati posisi interstitial oktahedron.

## II. LANDASAN TEORI

Sifat magnetoelektrik pada material *multiferroic* dapat dijelaskan dengan Gambar 1.



**Gambar 1.** Kedudukan material *multiferroic* (a) dan sifat magnetoelektrik pada material *multiferroic* (b) [8]

Gambar 1 (a) memperlihatkan bahwa material *multiferroic* mempunyai sifat magnetik dan elektrik dilihat dari irisan yang tergambar antara material *ferromagnetic* dan *ferroelectric*. Sedangkan gambar 1 (b) menunjukkan bahwa jika material *multiferroic* diberikan efek medan magnet luar (H) maka akan memberikan respons berupa efek listrik (sifat magnetoelektrik) dan efek tegangan (sifat magnetoelastisitas). Jika diberikan tegangan luar ( $\sigma$ ) pada material tersebut maka akan timbul respons berupa efek medan magnet (sifat magnetoelastisitas) dan efek listrik (sifat piezoelektrik) demikian seterusnya.

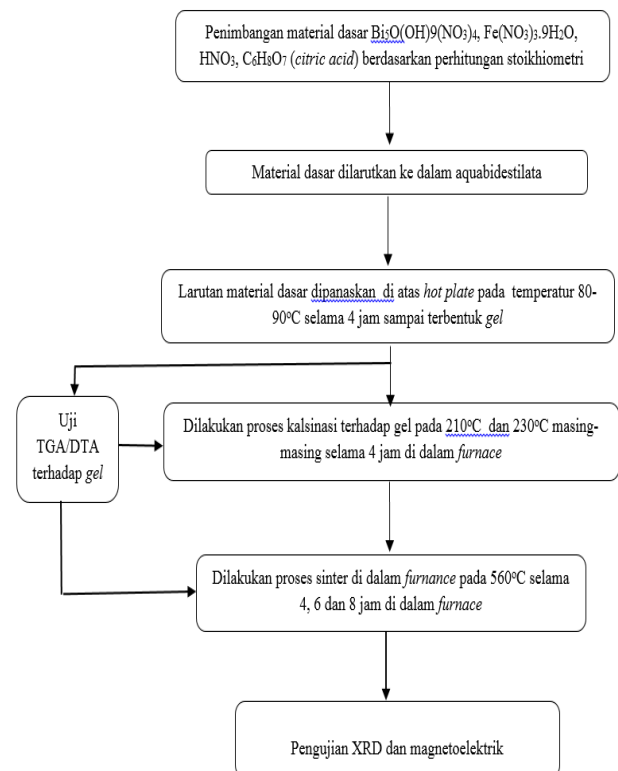
Beberapa peneliti telah melakukan sintesis material *multiferroic* dengan beberapa metode. Wang dkk. [9] dan Pradhan dkk [10] membuat BFO murni dengan teknik *rapid liquid-phase sintering*. Temperatur kristalisasi BFO yang dibutuhkan pada metode ini di atas temperatur Currie ( $T_C$ ), dimana penguapan *bismuth* sangat sulit dihindari. Selain itu, Ghosh dkk [11] membuat BFO fasa tunggal dengan metode *sol-gel*. Akan tetapi Ghosh menghasilkan material dengan kebocoran arus yang tinggi. Chen.C dkk. (2006) [12] menggunakan cara sintesa *hydrothermal* temperatur rendah untuk menghasilkan kristal fasa tunggal  $\text{BiFeO}_3$ . Pengaruh awal konsentrasi KOH, temperatur reaksi, dan lamanya waktu evolusi fasa serta ukuran partikel dan morfologi kristal BFO dapat diselidiki secara sistematis. Chen C dkk memperoleh kristal *perovskite* BFO pada temperatur 200°C

menggunakan KOH dengan konsentrasi 4M. Han dkk [13] melaporkan tentang sintesa hidrotermal BFO. Semua sampel yang disintesis ditemukan sudah dalam keadaan murni oleh alat uji XRD. Indeks pola difraksi dari  $\text{BiFeO}_3$  adalah *Rhombohedral* terdistorsi *perovskite* dengan grup ruang R3c dan parameter kisi  $a = 5,582 \text{ \AA}$  and  $c = 13,876 \text{ \AA}$ . Chen X.Z dkk [14] melakukan sintesis partikel *bismuth ferrite polyhedral* skala besar dengan metode hidrotermal di bawah serangkaian percobaan. Hasil uji XRD menunjukkan serbuk  $\text{BiFeO}_3$  memiliki struktur *perovskite*, sedangkan hasil uji SEM menunjukkan beberapa bentuk partikel  $\text{BiFeO}_3$ , seperti bola (*sphere*), *octahedron*, *truncated octahedron*, *cube-octahedron* dan *truncated cube*. Material  $\text{BiFeO}_3$  menunjukkan perilaku feroelektrik dan reaksi magnetik yang membuktikan adanya sifat *multiferroic* pada kristal  $\text{BiFeO}_3$ .

Dari penelusuran beberapa artikel tersebut menunjukkan bahwa sintesis material  $\text{BiFeO}_3$  selama ini umumnya menggunakan metode yang kompleks dan belum membuktikan adanya sifat magnetoelektrik pada material tersebut (BFO). Kegiatan penelitian yang sudah dilaksanakan ini menggunakan metode yang lebih sederhana (*sol-gel*) yang dapat menghasilkan material *multiferroic*  $\text{BiFeO}_3$  dalam bentuk serbuk dan diharapkan menunjukkan sifat magnetoelektrik yang kuat.

## III. METODE PENELITIAN

Sintesis material keramik  $\text{BiFeO}_3$  dilakukan dengan metode *sol-gel* mengingat metode ini merupakan metode yang sederhana, tidak membutuhkan peralatan kompleks, menghasilkan serbuk ukuran nano, mengurangi terjadinya aglomerasi pada produk serbuk yang dihasilkan dan temperatur proses yang dibutuhkan rendah. Material dasar yang dibutuhkan adalah senyawa  $\text{Bi}_2\text{O}(\text{OH})_9(\text{NO}_3)_4$ ,  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$  (*citric acid*). Seluruh material dasar dilarutkan dengan menggunakan *aquabidestilata* Tahapan proses mengikuti diagram alir seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

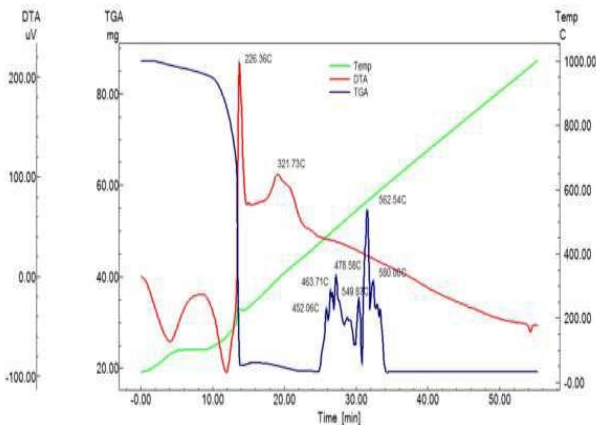


**Gambar 2.** Diagram alir sintesis keramik  $\text{BiFeO}_3$

Gambar 2 menunjukkan bahwa tahap awal sintesis dilakukan dengan memanaskan larutan di atas *hot plate* pada temperatur 80-90°C sampai terbentuk *gel* (kurang lebih 4-5 jam). *Gel* yang terbentuk kemudian dilakukan uji TGA/DTA (*Thermal Gravimetry Analyzer / Differential Thermal Analyzer*), tujuannya adalah untuk mengetahui besaran temperatur kalsinasi dan sinter yang dibutuhkan untuk menghasilkan serbuk BFO. Proses kalsinasi dilakukan dengan tujuan untuk proses penguapan air dan senyawa-senyawa karbon, nitrogen dan oksigen yang masih terdapat pada *gel*. Proses sinter dilakukan dengan tujuan agar terjadi kristalisasi pada serbuk BFO hasil dari proses kalsinasi sehingga tidak ada lagi unsur yang berbentuk *amorf*. Karakterisasi yang dilakukan adalah uji *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengkonfirmasi fasa-fasa apa saja yang terdapat pada serbuk BFO dan uji pengamatan sifat magnetoelektrik dengan memberikan efek medan magnet luar.

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

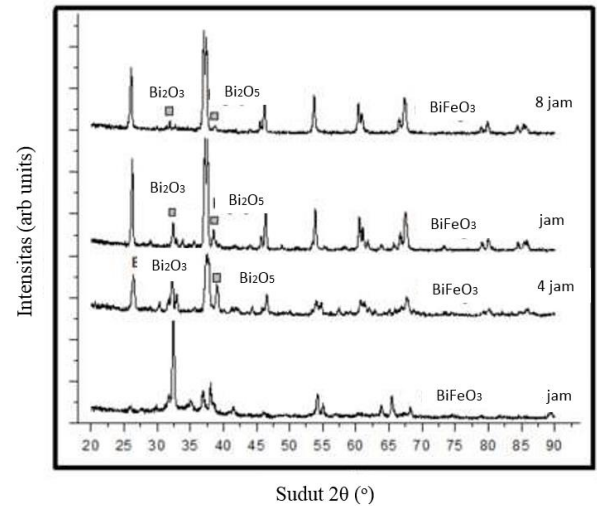
Hasil uji TGA/DTA ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Hasil uji TGA/DTA terhadap *gel* BiFeO<sub>3</sub>

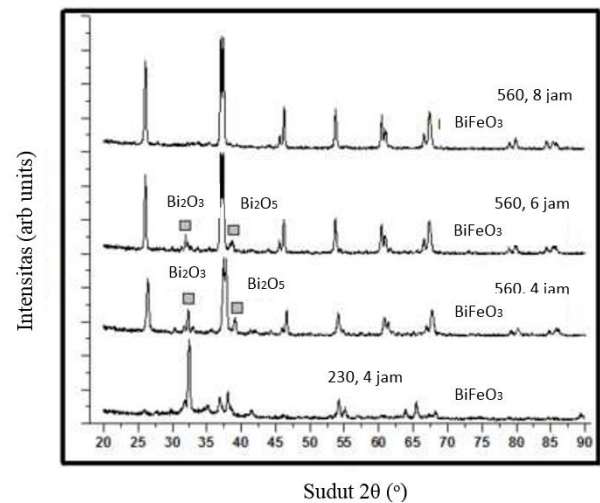
Gambar 3 menunjukkan bahwa *gel* BFO yang dipanaskan sampai dengan 1000°C akan mengalami perubahan massa (terukur oleh TGA) dan energi (terukur oleh DTA). Terjadinya perubahan (penurunan) massa dan energi pada diagram TGA/DTA menunjukkan bahwa pada temperatur tersebut terjadi transformasi fasa yang diprediksi terjadi jika *gel* dipanaskan pada temperatur-temperatur tersebut. Temperatur terjadinya penurunan massa yang pertama digunakan sebagai acuan temperatur kalsinasi (210 dan 230°C) dan temperatur terjadinya perubahan energi berikutnya digunakan sebagai acuan temperatur sinter (560°C).

Untuk mengetahui jenis fasa yang terjadi pada serbuk setelah proses sinter dilakukan uji XRD yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 4 (untuk kalsinasi 210°C). Gambar 4 menunjukkan bahwa pada temperatur kalsinasi 210°C serbuk BFO (untuk semua waktu sinter 4, 6 dan 8 jam dan temperatur sinter 560°C) masih mengandung fasa pengotor Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (sudut difraksi 33°) dan Bi<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (sudut difraksi 38°). Fasa Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mempunyai sudut difraksi yang lebih rendah dari pada fasa Bi<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Kedua fasa impuritas tersebut dapat mempengaruhi sifat magnetoelektrik material. Hal ini ditunjukkan pada hasil pengujian sifat magnetoelektrik.



**Gambar 4.** Hasil uji XRD serbuk BFO pada temperatur kalsinasi 210°C

Sedangkan hasil uji XRD serbuk BFO dengan temperatur kalsinasi 230°C ditunjukkan pada Gambar 5.

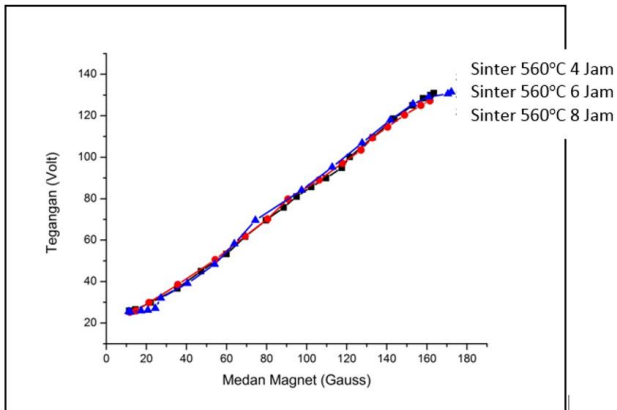


**Gambar 5.** Hasil uji XRD serbuk BFO pada temperatur kalsinasi 230°C

Gambar 5 menunjukkan bahwa serbuk BFO yang mengalami kalsinasi pada temperatur 230°C menghasilkan serbuk dengan fasa tunggal BiFeO<sub>3</sub> pada temperatur sinter 560°C selama 8 jam. Sedangkan serbuk yang mengalami sinter selama 4 dan 6 jam masih mengandung fasa impuritas Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (pada sudut difraksi 33°) dan Bi<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (pada sudut difraksi 38°). Temperatur kalsinasi yang lebih rendah (210°C) menghasilkan serbuk yang masih mengandung fasa impuritas (untuk seluruh waktu sinter) dibandingkan dengan temperatur kalsinasi yang lebih tinggi (230°C), hal ini disebabkan karena pada temperatur kalsinasi 210°C masih terdapat kelebihan unsur oksigen yang belum menguap seluruhnya selama proses kalsinasi. Kelebihan oksigen ini kemudian diikat oleh unsur Bi sebagian menjadi Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan sebagian lagi menjadi Bi<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Adanya unsur pengotor ini dapat mempengaruhi sifat magnetoelektrik BiFeO<sub>3</sub>.

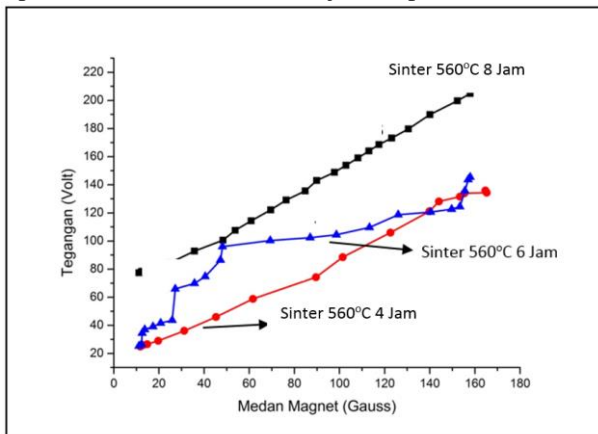
Sifat magnetoelektrik material keramik BiFeO<sub>3</sub> hasil sintesis diketahui melalui pengujian dengan memberikan efek medan magnet luar. Jika timbul respons berupa muncul tegangan listrik (volt) maka dapat disimpulkan bahwa material keramik BFO mempunyai sifat magnetoelektrik,

yang artinya material tersebut merupakan kelompok material *multiferroic*. Hasil pengujian tersebut ditunjukkan pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Sifat magnetoelektrik serbuk pada temperatur kalsinasi 210°C

Gambar 6 menunjukkan bahwa serbuk BFO pada temperatur kalsinasi 210°C untuk semua parameter sinter menghasilkan respons munculnya tegangan listrik (130 volt) yang cukup besar jika serbuk diberikan efek medan magnet luar meskipun dalam satuan medan magnet yang kecil (160 Gauss). Besarnya respons tegangan listrik yang muncul hampir sama besar untuk semua serbuk. Sedangkan hasil pengujian sifat magnetoelektrik untuk serbuk BFO pada temperatur kalsinasi 230°C ditunjukkan pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Sifat magnetoelektrik serbuk pada temperatur kalsinasi 230°C

Gambar 7 menunjukkan bahwa serbuk yang mengalami kalsinasi pada temperatur 230°C memberikan respons tegangan listrik yang lebih besar dibandingkan dengan serbuk yang mengalami kalsinasi pada temperatur 210°C. Respons tegangan listrik yang terbesar tersebut diberikan oleh serbuk yang mengalami sinter pada temperatur 560°C selama 8 jam. Besarnya tegangan listrik tersebut adalah maksimum 220 volt untuk medan magnet luar yang hanya sekitar 160 Gauss. Serbuk yang memberikan respons tegangan listrik yang terbesar ini ternyata adalah serbuk BFO dengan fasa tunggal (tanpa fasa impuritas).

## V. KESIMPULAN

Material keramik berbasis *ferrite* dalam hal ini adalah  $\text{BiFeO}_3$  hasil sintesis dengan metode *sol-gel*, seluruhnya menunjukkan sifat magnetoelektrik, sehingga material keramik ini dapat dimasukkan ke dalam kelompok material

*multiferroic*. Sifat *multiferroic* yang paling kuat dimiliki oleh material keramik dengan fasa tunggal  $\text{BiFeO}_3$  (dengan perlakuan kalsinasi pada 230°C dan sinter pada 560°C selama 8 jam). Makin banyak fasa impuritas yang dimiliki material keramik BFO akan menurunkan besarnya respons tegangan listrik.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kegiatan penelitian ini sebagian didanai oleh Hibah Penelitian Fundamental, Kemenristekdikti tahun anggaran 2016 dengan nomor kontrak 0299/E3/2016, tanggal 27 Januari 2016.

## REFERENSI

- [1]. C. Chappert, A. Fert, F.N. Van Dau, The emergence of spin electronics in data storage, *Nature Materials*, vol. 6, no. 11, 2007, pp. 813–823.
- [2]. J.F. Scott, Data storage: multiferroic memories, *Nature Materials*, vol. 6, no. 4, 2007, pp. 256–257.
- [3]. Picozzi, Silvia, E. Ederer, First principles studies of multiferroic materials, *Journal Physics Condens Matter* 21303201, 2009, pp. 18
- [4]. Retno, Darminto, Malik, Sintesis multiferroik  $\text{BiFeO}_3$  dengan metode kopresipitasi, liquid-mixing, dan solid-state reaction menggunakan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  hasil sintesis dari pasir besi, *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, Surabaya, 2011.
- [5]. D. Lebeugle, A. Mougín, M. Viret, D. Colson, L. Ranno, Electric field switching of the magnetic anisotropy of a ferromagnetic layer exchange coupled to the multiferroic compound  $\text{BiFeO}_3$ , *Physical Review Letters*, 2009.
- [6]. Xue-Lian Yu, Yu Wang, Chuan-Bao Cao, Helen Lai-Wa Chan, Gas-sensing properties of perovskite  $\text{BiFeO}_3$  nanoparticles, *Journal of the American Ceramic Society*, 2009.
- [7]. P. Sen, A. Dey, A.K. Mukhopadhyay, S.K. Bandyopadhyay, A.K. Himanshu, Nanoindentation behaviour of nano  $\text{BiFeO}_3$ , *Ceramics International*, doi: 0.1016/j. ceramint. 2011.09.011, 2010.
- [8]. L.W. Martin, Y.H. Chu, R. Ramesh, *Materials Science and Engineering R* 68, 2010, pp. 89-133.
- [9]. S.X. Wang, A.M. Taratorin, Magnetic information storage technology, *Academic Press*, San Diego, Calif. USA, 2004.
- [10]. A.K. Pradhan, K. Zhang, D. Hunter, J.B. Dadson, G.B. Loutts, P. Bhattacharya, R. Katiyar, J. Zhang, U.N. Roy, Y. Cui, A. Burger, Magnetic and electrical properties of single phase multiferroic  $\text{BiFeO}_3$ , *Journal Applied Physics*, 97, 2005, 093903-093906.
- [11]. S. Ghosh, A. Dasgupta, H. Sen, Sekhar, Low-temperature synthesis of nanosized bismuth ferrite by soft chemical route, *J. Am. Ceram. Soc.*, 88, 2005, pp. 1349–1352
- [12]. C. Chen, S. Cheng, L. Yu, Z. Che, Meng, Hydrothermal synthesis of perovskite bismuth ferrite crystals, *J. Crystal Growth*, 291, 2006, pp. 135–139.
- [13]. Y.H. Han, X.J. Huang, C.L. Wu, W. Wu, B. Wei, W. Peng, J.B. Huang, Goodenough, Tunable synthesis of bismuth ferrites with various morphologies, *Adv. Mater*, 2006, pp. 2145–2148.
- [14]. X.Z. Chen, Z.C. Qiu, J.P. Zhou, G. Zhu, X.B. Bian, P. Liu, Large-scale, growth and shape evolution of bismuth ferrite particles with a hydrothermal, *Material Chemical Physics*, 126, 2011, pp. 560-567.