

FABRIKASI DAN KARAKTERISASI STRUKTUR DAN DENSITAS KERAMIK $(\text{Mg}_{0,5}\text{Zn}_{0,5})\text{TiO}_3+x$ wt.% Bi_2O_3 SEBAGAI KANDIDAT MATERIAL DIELEKTRIK

¹⁾Feby Y. Rostianbudi dan ²⁾Frida U. Ermawati*

^{1,2)}Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: ¹⁾febyrostianbudi16030224029@mhs.unesa.ac.id, ²⁾frida.ermawati@unesa.ac.id

*Penulis untuk berkorespondensi (The Corresponding Author)

Abstrak

Telah dilakukan fabrikasi dan karakterisasi keramik $(\text{Mg}_{0,5}\text{Zn}_{0,5})\text{TiO}_3$ (disingkat MZT05)+x wt.% Bi_2O_3 ($x = 0, 1, 3, 5$ dan 7) yang diharapkan mampu menghasilkan keramik berbasis MgTiO_3 sebagai kandidat material dielektrik. Fabrikasi keramik dilakukan dengan proses *milling* antara serbuk kristalin MZT05 dengan x wt.% Bi_2O_3 kemudian hasilnya dikompaksi pada tekanan 10 MPa dan disinter pada suhu 1000 °C selama 2 jam untuk menjadi keramik MZT05+x wt.% Bi_2O_3 . Karakterisasi struktur dengan uji XRD menunjukkan bahwa keramik MZT05+0 wt.% Bi_2O_3 mengandung MgTiO_3 sebagai fasa utama dengan % molar = 94,23 dan sisanya TiO_2 *rutile*. Pada komposisi 1, 3 dan 5 wt.% Bi_2O_3 diperoleh fasa tunggal MgTiO_3 (100% molar), sedangkan pada komposisi 7 wt.% Bi_2O_3 hanya memberikan fasa $\text{MgTiO}_3 = 53,13$ % molar, TiO_2 *rutile* = 42,20 % molar dan sisanya Mg_2TiO_4 . Karakterisasi densitas keramik MZT05+x wt.% Bi_2O_3 memberikan nilai-nilai yang terus meningkat seiring bertambahnya wt.% Bi_2O_3 dari 0–7 wt.%, yakni dari 3,57 menjadi 3,72 g/cm³. Dapat disimpulkan bahwa keramik MZT05+0, 1, 3 dan 5 wt.% Bi_2O_3 lebih direkomendasikan sebagai kandidat material dielektrik berbasis MgTiO_3 karena memiliki kandungan MgTiO_3 yang sangat tinggi (94,23 % molar untuk 0 wt.% Bi_2O_3 dan 100 % molar untuk 1, 3 dan 5 wt.% Bi_2O_3), serta memiliki densitas yang tinggi pula. Sedangkan pada komposisi 7 wt.% Bi_2O_3 tidak direkomendasikan karena kandungan fasa MgTiO_3 menjadi sangat rendah (53,13 % molar) disertai fasa sekunder Mg_2TiO_4 yang berpotensi menurunkan sifat dielektrik keramik meskipun memiliki densitas yang paling tinggi.

Kata Kunci: Fabrikasi keramik MZT05+x wt.% Bi_2O_3 , struktur, densitas

Abstract

*Fabrication and characterization of $(\text{Mg}_{0,5}\text{Zn}_{0,5})\text{TiO}_3$ ceramics (abbreviated as MZT05)+x wt.% Bi_2O_3 ($x = 0, 1, 3, 5$ and 7) which is expected to be able to produce MgTiO_3 -based ceramics as a candidate for dielectric materials has been undertaken. The ceramic fabrication was carried out by milling process between MZT05 crystalline powder and x wt.% Bi_2O_3 . The product was compacted at 10 MPa and sintered at 1000 °C for 2 hours to obtain MZT05+x wt.% Bi_2O_3 ceramics. Characterization of the structure by XRD showed that MZT05+0 wt.% Bi_2O_3 ceramic contained MgTiO_3 as the main phase with % molar = 94.23 and the remaining is *rutile* TiO_2 . The addition of 1, 3 and 5 wt.% Bi_2O_3 gave rise to a single phase of MgTiO_3 (100 % molar), while the addition of 7 wt.% Bi_2O_3 resulted in MgTiO_3 phase was only 53.13 % molar, *rutile* $\text{TiO}_2 = 45.20$ % molar and the remaining is Mg_2TiO_4 . Density characterization of the ceramic MZT05+x wt.% Bi_2O_3 provides the values that increase with increasing of wt.% Bi_2O_3 from 0 to 7 wt.%, which is 3.57 to 3.72 g/cm³. It can be concluded that MZT05+0, 1, 3 dan 5 wt.% Bi_2O_3 ceramics are more recommended as candidates for MgTiO_3 -based dielectric materials because they contain MgTiO_3 phase (94.23 % molar for 0 wt.% Bi_2O_3 and 100 % molar for 1, 3 dan 5 wt.% Bi_2O_3) and have high densities, while the addition of 7 wt.% Bi_2O_3 is not recommended because the MgTiO_3 content was very low (53.13 % molar), accompanied by the secondary Mg_2TiO_4 phase which potentially reduced the ceramic dielectric properties despite having the highest density.*

Keywords: Ceramic fabrication MZT05+x wt.% Bi_2O_3 , structure, density

PENDAHULUAN

Magnesium titanate ($MgTiO_3$) merupakan salah satu material keramik yang berpotensi sebagai dielektrik untuk aplikasi sebagai komponen dari telekomunikasi, kapasitor, dan sistem radar yang beroperasi pada frekuensi gelombang mikro (Samyuktha *et al.*, 2016). Atas dasar potensi tersebut, maka riset fabrikasi keramik $MgTiO_3$ telah berkembang pesat.

Dalam bentuk keramik, penggunaan Zn^{2+} sebagai *dopant* Mg^{2+} pada sistem $(Mg_{1-x}Zn_x)TiO_3$ dengan $x = 0-0,5$ mol dilaporkan oleh Ermawati *et al.*, (2016) dapat meningkatkan densitas keramik. Namun, peningkatan densitas tersebut masih menuntut suhu sinter yang tinggi, yaitu $1400^\circ C$ selama 8 jam. Sementara di sisi lain, suhu sinter yang tinggi menimbulkan beberapa “masalah baru”. Masalah baru yang dimaksud tersebut adalah, *pertama*, untuk menjangkau suhu sinter yang tinggi sejauh $1400^\circ C$ diperlukan *furnace* suhu tinggi yang hanya dapat ditemukan di laboratorium tertentu saja. *Kedua*, suhu sinter yang tinggi memerlukan biaya yang tinggi pula sehingga suhu sinter tersebut sedapat mungkin dihindari. *Ketiga*, suhu sinter tinggi menyebabkan ukuran butir menjadi besar. Menurut Kingery *et al.*, (1976) sifat dielektrik dipengaruhi diantaranya oleh keberadaan fasa utama, fasa sekunder dan densitas. Keberadaan fasa sekunder tersebut dapat menurunkan karakteristik konstanta dielektrik atau permitivitas dari keramik. Adanya fasa utama dan densitas yang tinggi dari keramik, maka sifat permitivitas keramik tersebut bertambah. Oleh karena itu, menurut Ermawati (2018), guna menurunkan suhu sinter yang masih tinggi pada proses fabrikasi keramik $MgTiO_3$, maka dapat ditambahkan zat tertentu yang mengandung fasa cair ke dalam serbuk.

Zat fasa cair (*liquid additive agent* - LAA) berfungsi sebagai *compaction aid*, yaitu sebagai bahan yang membantu proses pemadatan menjadi lebih cepat. Ketika titik leleh bahan LAA tersebut telah dicapai selama proses sinter berlangsung, maka bahan LAA tersebut akan mencair dan cairan tersebut akan mengisi pori-pori yang ada di antara butir-butir sampel uji. Terisinya pori-pori tersebut dapat mempercepat proses pemadatan sampel uji sehingga proses pemadatan tersebut dapat dilakukan pada suhu yang relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan suhu sinter sampel tanpa penambahan LAA. Bahan LAA yang telah dilaporkan oleh beberapa peneliti, antara lain: *pertama*, V_2O_5 oleh Erma wati *et al.*, (2018) pada sistem $(Mg_{0,8}Zn_{0,2})TiO_3$ yang dikompaksi pada tekanan 100 MPa dapat menurunkan suhu sinter dari 1400 selama 8 jam menjadi $1100^\circ C$ selama 4 jam tanpa impuritas. Bahan V_2O_5 tersebut memiliki peran penting dalam meningkatkan *relative density* keramik dari 89,9% (tanpa V_2O_5) menjadi 94,5% (dengan V_2O_5) dan mencegah

pertumbuhan butir, namun tidak merubah struktur dan karakteristik dari keramik tersebut. *Kedua*, penggunaan Bi_2O_3 oleh Bhuyan *et al.*, (2017) efektif dalam menurunkan suhu sinter keramik Mg_2TiO_4 dari 1400 menjadi $1250^\circ C$ selama 3 jam yang dikompaksi dengan tekanan 2000 kg/cm^2 dan *relative density* yang diperoleh adalah 72 % (tanpa Bi_2O_3) menjadi 84 % (dengan 1,5 wt.% Bi_2O_3). *Terakhir*, komposisi 2 wt.% Bi_2O_3 oleh Ika *et al.*, (2019) pada sistem $(Mg_{0,9}Zn_{0,1})TiO_3$ dapat menurunkan suhu sinter dari 1400 tanpa Bi_2O_3 menjadi $1000^\circ C$ selama 2 jam tanpa adanya fasa impuritas.

Berdasarkan uraian latar belakang di atas dan untuk menindaklanjuti hasil pekerjaan Ermawati *et al.*, (2018) dan Ika *et al.*, (2019), Penulis bermaksud untuk memfabrikasi dan mengkarakterisasi pengaruh variasi komposisi wt.% Bi_2O_3 terhadap struktur dan densitas dari keramik MZT05. Variasi komposisi Bi_2O_3 yang digunakan tersebut adalah 0, 1, 3, 5 dan 7 wt.% dengan proses *milling* selama 5 jam pada kecepatan 500 rpm dan kompaksi dengan tekanan 10 MPa selama 10 detik serta sinter pada suhu $1000^\circ C$ selama 2 jam.

METODE

A. Rancangan Penelitian

Fabrikasi keramik dalam penelitian ini dilakukan dengan mencampurkan antara serbuk kristalin MZT05 dengan 0, 1, 3, 5 dan 7 wt.% Bi_2O_3 menggunakan *planetary ball mill* disertai bola-bola zirconia dengan kecepatan 500 rpm selama 5 jam. Serbuk kristalin yang dimaksud tersebut telah tersedia dan siap dipergunakan. Serbuk hasil *milling* kemudian dikompaksi menggunakan *hydraulic press* dan *uniaxial die press* merk BWS pada tekanan 10 MPa dan ditahan selama 10 sekon untuk menjadi pelet. Semua pelet tersebut disinter pada suhu $1000^\circ C$ dengan waktu tahan 2 jam sehingga menjadi keramik $MZT05+x$ wt.% Bi_2O_3 (dengan x adalah variasi komposisi Bi_2O_3 , yaitu 0, 1, 3, 5 dan 7). Keramik dengan 5 variasi komposisi wt.% Bi_2O_3 tersebut kemudian dikarakterisasi struktur dengan uji XRD dan dikarakterisasi densitas dengan alat *densitymeter* dan metode Archimedes.

B. Variabel Operasional Penelitian

Variabel manipulasi pada penelitian ini berupa variasi komposisi wt.% Bi_2O_3 (0, 1, 3, 5 dan 7 wt.%). Variabel respon yang diperoleh berupa struktur dan densitas keramik $MZT05+x$ wt.% Bi_2O_3 ($x = 0, 1, 3, 5$ dan 7). Variabel kontrol adalah kecepatan dan waktu *milling* (500 rpm selama 5 jam), tekanan kompaksi 10 MPa, dan suhu sinter $1000^\circ C$ selama 2 jam.

C. Teknik Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan berupa data struktur dan Densitas. Data struktur diperoleh dari hasil uji XRD dilakukan menggunakan alat XRD *Bragg-Brentano Phillips X'pert Diffractometer* dengan radiasi Cu-K α pada rentang sudut 15-65°. Posisi *zero detector* 0,023° dengan langkah 0,02°/menit.

Data densitas diperoleh dengan pengujian menggunakan metode Archimedes. Pengujian tersebut dilakukan menggunakan alat *densitymeter Balance Mettler Toledo* tipe ME 403 E dan *Density kit MEDNY-43*. Pengujian densitas dengan cara menimbang massa kering keramik MZT05 di udara (m_k) dan kemudian keramik MZT05 dicelupkan ke dalam larutan aquades sampai tidak muncul gelembung udara yang keluar dari sampel (m_a). Keramik MZT05 ditimbang di dalam aquades (m_b). Hasil densitas keramik MZT05 dihitung dari Persamaan (1) oleh perangkat lunak *Hyperterminal* yang telah terintegrasi dengan alat *densitymeter* tersebut.

$$\rho_p = \frac{m_k}{m_b - m_a} \times \rho_{\text{aquades}} \quad (1)$$

Keterangan:

ρ_p = bulk density sampel (g/cm³)

m_k = massa kering sampel (g)

m_a = massa basah sampel (g)

m_b = massa Archimedes (g)

ρ_{aquades} = densitas aquades (g/cm³).

D. Teknik Pengolahan Data

Analisis struktur XRD dilakukan dengan analisis secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan menggunakan *software Match!* yang bertujuan untuk mengidentifikasi fasa-fasa kristalin yang ada di dalam keramik. Proses identifikasi fasa tersebut didasarkan pada pencocokan data posisi puncak yang terukur dengan basis data (*database*) di *software Match!* yang disebut *powder diffraction file* (PDF). Setelah mengidentifikasi fasa yang terbentuk, selanjutnya adalah analisis kuantitatif dengan metode Rietveld (Rietveld, 1969) yang diimplementasikan pada *software Rietica* (Hunter, 1998) dengan persamaan sebagai berikut:

$$y_{ci} = s \sum_K L_K |F_K|^2 \phi(2\theta_i - 2\theta_K) P_K A + y_{bi} \quad (2)$$

dengan i adalah indeks untuk sebuah titik yang sedang dihitung, s adalah faktor skala, K adalah indeks Miller (hkl) untuk sebuah puncak Bragg, L_K adalah berisi faktor-faktor polarisasi Lorentz dan pelipatan (*multiplication*), $|F_K|$ adalah faktor struktur untuk refleksi Bragg ke K , ϕ adalah fungsi bentuk puncak, $2\theta_i$ dan $2\theta_K$ masing-masing menyatakan sudut-sudut detektor yang berhubungan dengan titik i dan puncak Bragg K , P_K adalah fungsi

preferred orientation, A adalah faktor serapan, dan y_{bi} adalah kontribusi dari latar (*background*).

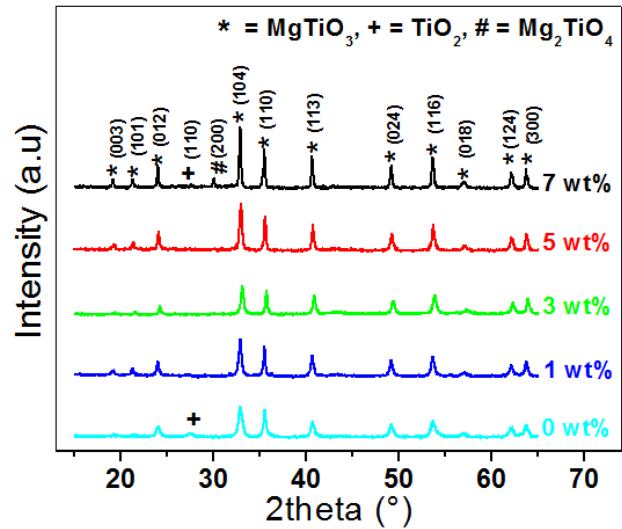
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

1. Karakterisasi Struktur

Analisis Kualitatif (Identifikasi Fasa)

Hasil identifikasi terhadap fasa-fasa dari pola XRD keramik MZT05+x wt.% Bi₂O₃ (x = 0, 1, 3, 5 dan 7) yang disinter pada suhu 1000 °C selama 2 jam ditunjukkan pada Gambar 1.

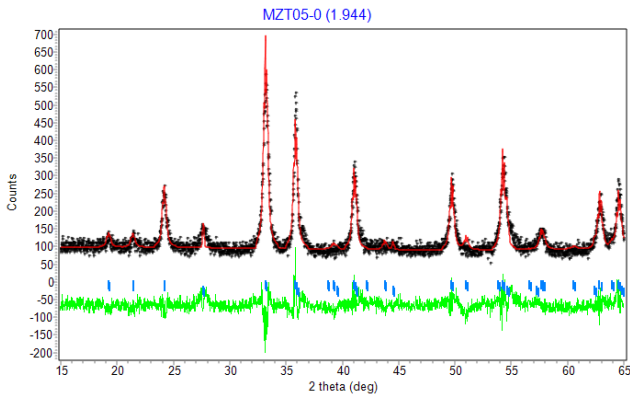


Gambar 1. Pola XRD keramik MZT05+x wt.% Bi₂O₃ (x = 0, 1, 3, 5 dan 7) hasil sinter pada suhu 1000 °C selama 2 jam.

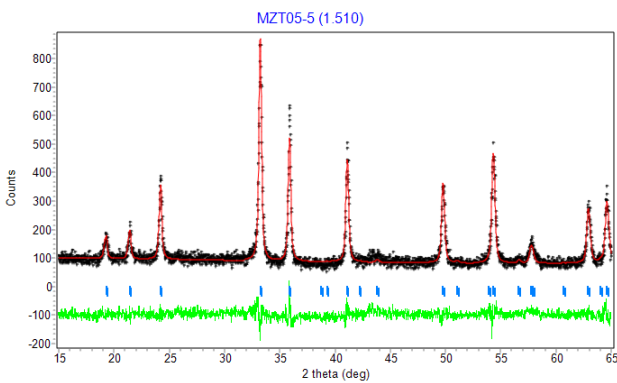
Pada Gambar 1, simbol (*) menyatakan puncak-puncak difraksi milik fasa MgTiO₃ (PDF 06-0494), simbol (o) menyatakan puncak-puncak difraksi milik fasa TiO₂ *rutile* (PDF 21-1276), sedangkan simbol (#) menyatakan puncak-puncak difraksi milik fasa Mg₂TiO₄ (PDF 25-1157). Berdasarkan Gambar 1 di atas, keramik MZT05+0 wt.% Bi₂O₃ mengandung 2 fasa, yaitu MgTiO₃ sebagai fasa utama dan TiO₂ *rutile* sebagai fasa impuritas, sedangkan keramik MZT05 dengan komposisi 1, 3 dan 5 wt.% Bi₂O₃ hanya mengandung fasa tunggal MgTiO₃. Selanjutnya, keramik MZT05+7 wt.% Bi₂O₃ mengandung 3 fasa, yaitu MgTiO₃ sebagai fasa utama, Mg₂TiO₄ sebagai fasa sekunder dan TiO₂ *rutile* sebagai fasa impuritas.

Analisis Kuantitatif

Gambar 2 dan Gambar 3 berikut menunjukkan pola hasil penghalusan *Rietveld*, masing-masing untuk keramik MZT05+0 wt.% Bi₂O₃ dan keramik MZT05+5 wt.% Bi₂O₃. Hasil penghalusan terhadap keramik MZT05+5 wt.% Bi₂O₃ tersebut dipilih untuk mewakili hasil penghalusan untuk ketiga keramik lainnya yang juga ditambahkan wt.% Bi₂O₃ (1, 3 dan 7 wt.%).



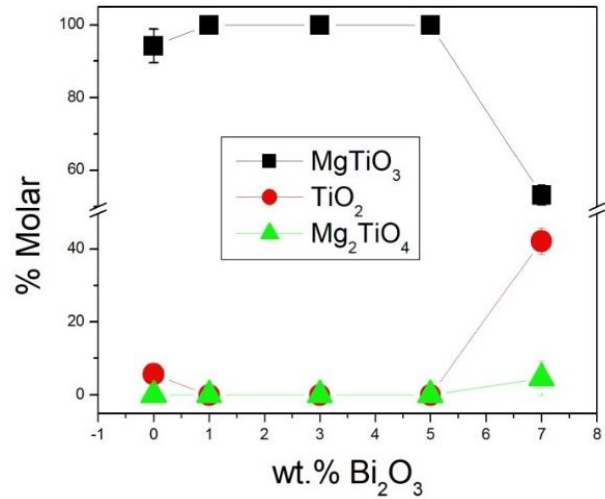
Gambar 2. Pola hasil *refinement* Rietveld dengan *software Rietica* pada komposisi 0 wt.% Bi_2O_3 (FoM: GoF = 1,9445 %; R_p = 10,01 %; R_{wp} = 12,63 %; dan R_{exp} = 9,06 %).



Gambar 3. Pola hasil *refinement* Rietveld dengan *software Rietica* pada komposisi 5 wt.% Bi_2O_3 (FoM: GoF = 1,510 %; R_p = 8,97 %; R_{wp} = 11,36 %; dan R_{exp} = 9,25 %).

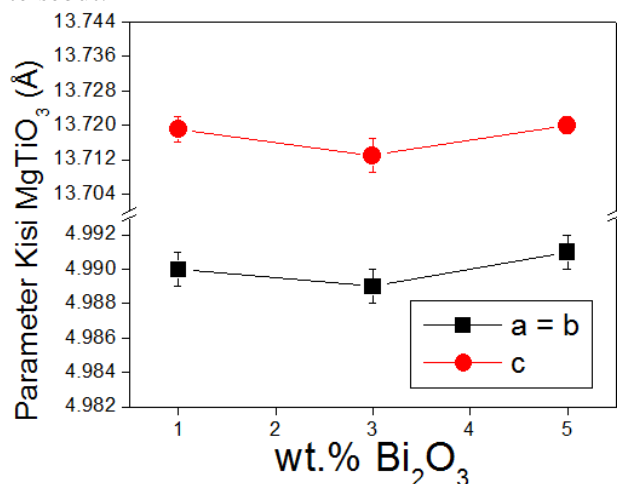
Pada Gambar 2 dan 3, garis warna merah menunjukkan pola difraksi terhitung (model), simbol “+” berwarna hitam menunjukkan pola difraksi terukur (eksperimen) dan garis hijau menunjukkan selisih intensitas antara pola difraksi terukur dan terhitung, sedangkan garis-garis vertikal kecil berwarna biru adalah puncak-puncak *Bragg* milik semua fasa yang teridentifikasi berdasarkan *software Match!*.

Berdasarkan hasil *refinement* Rietveld baik pada Gambar 2 dan Gambar 3 tersebut maupun untuk ketiga keramik lainnya diperoleh data komposisi fasa berupa parameter kisi, volume sel satuan, dan % molar $MgTiO_3$. Data % molar tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. % molar fasa $MgTiO_3$ yang diperoleh dari keramik MZT05+x wt.% Bi_2O_3 (x = 0, 1, 3, 5 dan 7).

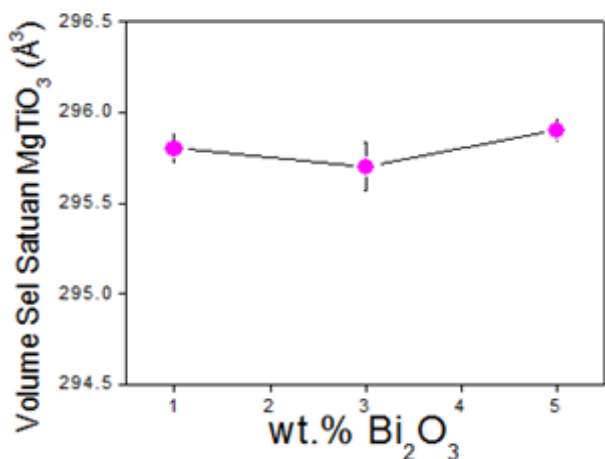
Pada Gambar 4, keramik MZT05 + 0 wt.% Bi_2O_3 mengandung fasa $MgTiO_3$ dengan % molar = 94,23 dan sisanya 5,77 % molar adalah TiO_2 *rutile*. Pada keramik MZT05 dengan komposisi 1, 3 dan 5 wt.% Bi_2O_3 hanya mengandung fasa tunggal $MgTiO_3$ (100 % molar), sedangkan keramik MZT05+7 wt.% Bi_2O_3 mengandung fasa $MgTiO_3$ = 53,13 % molar, TiO_2 *rutile* = 45,20 % molar dan sisanya 5,06 % molar adalah Mg_2TiO_4 . Mengingat bahwa keramik dengan komposisi 1, 3 dan 5 wt.% Bi_2O_3 hanya terdiri dari fasa tunggal $MgTiO_3$ saja, maka pada Gambar 5 dan 6 berikut ditunjukkan data parameter kisi dan volume satuan untuk ketiga keramik tersebut.



Gambar 5. Parameter kisi $MgTiO_3$ dari keramik MZT05+x wt.% Bi_2O_3 (x = 1, 3 dan 5).

Berdasarkan Gambar 5, nilai parameter kisi $MgTiO_3$ baik a = b maupun c dari keramik MZT05+x wt.% Bi_2O_3 (x = 1, 3 dan 5) terlihat meningkat seiring bertambahnya wt.% Bi_2O_3 . Namun, apabila peningkatan tersebut diamati lebih mendetail, maka perbedaan nilai parameter kisi tersebut

tampaknya tidak signifikan satu sama lain mengingat nilai parameter kisi a dan b untuk wt.% Bi_2O_3 dari 1 hingga 5 masing-masing sebesar $(4,990 \pm 0,004)$; $(4,899 \pm 0,004)$ dan $(4,991 \pm 0,004)$ Å. Sedangkan untuk parameter kisi c , masing-masing bernilai $(13,719 \pm 0,002)$; $(13,713 \pm 0,004)$ dan $(13,720 \pm 0,001)$ Å. Seperti telah disebutkan di atas, Gambar 6 berikut menunjukkan data volume sel satuan dari fasa $MgTiO_3$ milik ketiga keramik MZT05+x wt.% Bi_2O_3 untuk $x = 1, 3$ dan 5 .

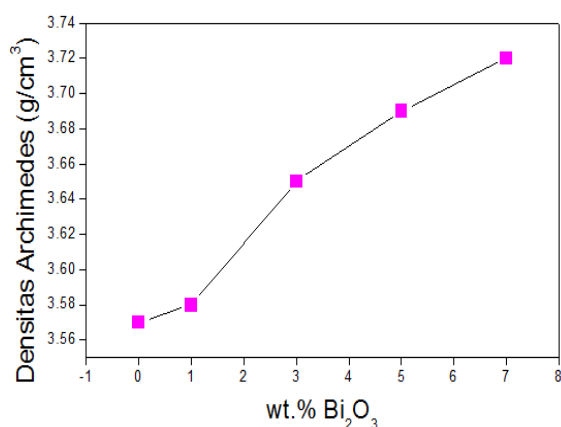


Gambar 6. Volume sel satuan $MgTiO_3$ dari keramik MZT05+x wt.% Bi_2O_3 ($x = 1, 3$ dan 5).

Berdasarkan Gambar 6, diperoleh bahwa nilai volume sel satuan fasa $MgTiO_3$ dari ketiga keramik MZT05+x wt.% Bi_2O_3 tersebut cenderung menunjukkan tren nilai yang mirip dengan tren parameter kisi pada Gambar 5 di atas, ya itu secara umum mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kandungan Bi_2O_3 di dalam sampel, namun peningkatan tersebut tidak signifikan, yaitu berturut-turut dari 295,8; 295,7 dan 295,9 Å³.

2. Karakterisasi Densitas

Gambar 7 menunjukkan hasil pengukuran densitas menggunakan metode Archimedes untuk semua keramik MZT05+x wt.% Bi_2O_3 ($x = 0, 1, 3, 5$ dan 7).



Gambar 7. Densitas keramik MZT05+x wt.% Bi_2O_3 ($x = 0, 1, 3, 5$ dan 7) sinter pada suhu 1000 °C, 2 jam.

Berdasarkan Gambar 7, diperoleh nilai densitas berturut-turut 3,57; 3,58; 3,65; 3,69 dan 3,72 g/cm³ untuk keramik MZT05 dengan variasi komposisi 0, 1, 3, 5 dan 7 wt.% Bi_2O_3 . Nilai densitas yang diperoleh tersebut meningkat seiring bertambahnya wt.% Bi_2O_3 .

B. Pembahasan

1. Karakterisasi Struktur

Analisis Kualitatif (Identifikasi Fasa)

Dapat dilihat pada Gambar 1, bahwa MZT05+x wt.% Bi_2O_3 ($x = 1, 3$ dan 5) diperoleh fasa tunggal $MgTiO_3$ dan MZT05+0 wt.% Bi_2O_3 juga mengandung fasa $MgTiO_3$ yang hampir tunggal. Hal tersebut ditandai dengan nilai % molar $MgTiO_3$ sebesar 94,23 % molar sedangkan pada keramik MZT05+7 wt.% Bi_2O_3 hanya mengandung 53,13 % molar $MgTiO_3$, $TiO_2 = 45,20$ % molar dan sisanya $Mg_2TiO_4 = 5,06$ % molar sebagai fasa sekunder. TiO_2 rutil merupakan fasa impuritas. Masih adanya fasa impuritas TiO_2 rutil tersebut karena TiO_2 rutil dan MgO periklase belum bereaksi sempurna membentuk $MgTiO_3$. $MgO + TiO_2 \rightarrow MgTiO_3$ seperti yang dilaporkan oleh Angela, R., & Pratapa, S., (2012) pada sistem $MgTiO_3$.

Selain itu, munculnya fasa Mg_2TiO_4 dimungkinkan bahwa selama proses sinter terjadi reaksi antara TiO_2 dan fasa amorf yang mengandung magnesium oksida untuk membentuk fasa sekunder Mg_2TiO_4 , mungkin melalui proses dari $2MgO + TiO_2 \rightarrow Mg_2TiO_4$ seperti yang dilaporkan oleh Ermawati, F. U., & Sua-smoro, S., (2018) pada sistem $(Mg_{1-x}Zn_x)TiO_3$ untuk $x = 0-0,5$. Adanya fasa sekunder dan impuritas tersebut berpotensi menyebabkan berkurangnya % molar fasa $MgTiO_3$, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

Analisis Kuantitatif

Seperti terlihat pada Gambar 2 dan 3, semua puncak eksperimen sesuai dengan puncak *Bragg* yang menyatakan bahwa *refinement* telah berhasil. Keberhasilan tersebut juga didukung oleh nilai GoF yang < 4,00 % dan juga R_p , R_{wp} , dan $R_{exp} < 20,00$ % sehingga dapat dikatakan *refinement* Rietveld dapat diterima menurut kriteria yang diisyaratkan oleh Kisi (Angela, R., & Pratapa, S., 2012).

Selain itu, berdasarkan Gambar 4 juga dapat dikatakan bahwa dari ke-5 variasi komposisi wt.% Bi_2O_3 , maka keramik MZT05+0, 1, 3 dan 5 wt.% Bi_2O_3 sangat direkomendasikan sebagai material dielektrik berbasis $MgTiO_3$ karena kandungan fasa $MgTiO_3$ sangat tinggi, yaitu 94,23 untuk 0 wt.% Bi_2O_3 dan 100 % molar untuk 1, 3 dan 5 wt.% Bi_2O_3 . Oleh sebab itu berdasarkan penjelasan dari Kingery *et al.*, (1976) di atas, maka keramik MZT05 dengan 0, 1, 3 dan 5 wt.% Bi_2O_3 tersebut sangat berpotensi sebagai kandidat material dielektrik berbasis $MgTiO_3$ karena memiliki fasa utama $MgTiO_3$ yang sangat tinggi

(94,23 dan 100 % molar). Sedangkan pada komposisi 7 wt.% Bi_2O_3 tidak direkomendasikan karena kandungan $MgTiO_3$ justru menjadi rendah (53,13 % molar). Adapun penyebabnya adalah seperti telah dijelaskan di atas, yaitu munculnya fasa Mg_2TiO_4 sebagai fasa sekunder dan masih adanya TiO_2 sebagai fasa impuritas. Keberadaan fasa sekunder dan impuritas tersebut dapat menurunkan karakteristik konstanta dielektrik dari keramik $MgTiO_3$ seperti yang dilaporkan oleh Kingery *et al.*, (1976), yaitu sifat dielektrik dipengaruhi oleh keberadaan fasa utama $MgTiO_3$ dan fasa sekunder Mg_2TiO_4 .

2. Karakterisasi Densitas

Seperti terlihat pada Gambar 7, diperoleh nilai densitas berturut-turut 3,57; 3,58; 3,65; 3,69 dan 3,72 g/cm^3 untuk keramik MZT05 dengan variasi komposisi 0, 1, 3, 5 dan 7 wt.% Bi_2O_3 . Nilai-nilai densitas dari kelima keramik MZT05+x wt.% Bi_2O_3 tersebut meningkat seiring bertambahnya wt.% dari Bi_2O_3 . Hal tersebut telah sesuai dengan publikasi dari Bhuyan *et al.*, (2017) mengenai komposisi Bi_2O_3 yang mampu menurunkan suhu sinter dan meningkatkan *relative density* dari suatu keramik, serta menyatakan bahwa komposisi 1, 3, 5 dan 7 wt.% Bi_2O_3 sebagai *liquid additive agent* (LAA) pada sistem keramik MZT05 telah mampu membantu proses pepadatan sistem keramik tersebut menjadi lebih cepat sehingga dapat meningkatkan densitas dari keramik MZT05 tersebut.

PENUTUP

A. Simpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dan yang dilaporkan ini, dapat disimpulkan: *pertama*, komposisi wt.% Bi_2O_3 dapat mempengaruhi struktur keramik MZT05. Bertambahnya wt.% Bi_2O_3 dari 1 ke 5 menyebabkan bertambahnya ukuran parameter kisi a ($a=b$) dan c , serta volume sel satuan. *Kedua*, komposisi wt.% Bi_2O_3 dari 0 hingga 5 wt.% tersebut juga mampu meningkatkan kandungan % molar fasa $MgTiO_3$ sehingga menjadi fasa tunggal. Oleh sebab itu, keramik MZT05 dengan 0, 1, 3 dan 5 wt.% Bi_2O_3 tersebut sangat berpotensi sebagai kandidat material dielektrik berbasis $MgTiO_3$ karena memiliki fasa utama $MgTiO_3$ yang sangat tinggi, bahkan menjadikannya sebagai fasa tunggal. *Terakhir*, komposisi wt.% Bi_2O_3 juga mempengaruhi densitas keramik MZT05. Bertambahnya wt.% Bi_2O_3 tersebut telah menjadikan densitas keramik MZT05 meningkat.

B. Saran

Perlu dilakukan pengujian mikrostruktur (uji FESEM) pada semua keramik MZT05 tersebut untuk mempelajari pengaruh variasi komposisi wt.% Bi_2O_3 terhadap mikrostruktur keramik MZT05. Sampai dengan artikel ini

selesai ditulis dan diujikan, uji FESEM tersebut belum dapat dilakukan mengingat lab uji FESEM harus *lockdown* dalam kurun waktu yang belum dapat ditentukan akibat pandemi COVID-19 yang terjangkit di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Angela, Riyan dan Pratapa, Suminar. (2012). *Sintesis $MgTiO_3$ dengan Variasi Temperatur Kalsinasi Menggunakan Metode Pencampuran Larutan*. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 1(1), ISSN:2301-928X.
- Bhuyan, R K, T Santhosh Kumar, and D Pamu. 2017. *Liquid phase Effect of Bi_2O_3 Additive on Densification, Microstructure and Microwave Dielectric Properties of Mg_2TiO_4 Ceramics*. *Ferroelectrics* 516 (1) 173-84. <https://doi.org/10.1080/00150193.2017.1362226>.
- Ermawati, F. U., Pratapa, S., Suasmoro, S., Hübert, T., & Banach, U. 2016. *Preparation and structural study of $Mg_{1-x}Zn_xTiO_3$ ceramics and their dielectric properties from 1 Hz to 7.7 GHz*. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 27(7), 6637–6645. <https://doi.org/10.1007/s10854-016-4610-6>.
- Ermawati, Frida U. 2018. *Difraksi Sinar-X: Teori dan Analisis Data Eksperimen*. Surabaya: UNESA Unipress Surabaya.
- Ermawati, F. U., & Suasmoro, S. 2018. *Dilatometric shrinkage study on magnesium titanate-based ceramic systems*. *Journal of Physics: Conference Series*, 997(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/997/1/012005>
- Hunter, B. (1998). *Rietica: A Visual Rietveld Program Newsletter for International Union of Crystallography*. Commission on Powder Diffraction 21.
- Rietveld, H. M. 1969. 'A Profile Refinement Method for Nuclear and Magnetic Structures'. *Journal of Applied Crystallography*, 65–71.
- Sharon Samyuktha, V., A. Guru Sampath Kumar, T. Subba Rao, and R. Padma Suvarna. (2016). *Synthesis, Structural, and Dielectric Properties of Magnesium Calcium Titanate $(1-x)MgTiO_3-xCaTiO_3$ ($x=0, 0.1, 0.2$ and 0.3)*. *Materials Today: Proceedings* 3 (6):1768-71. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2016.04.072>
- W.D. Kingery, H.K.Bowen and D.R.Uhlman. 1976. *Introduction to Ceramic*. 2nd edn. (Wiley-Interscience, New York). p.452
- Yulianti, Dwi Ika., Ermawati, Frida U. 2019. *Analisis Struktur dan Mikrostruktur Fasa Tunggal $(Mg_{0,9}Zn_{0,1})TiO_3/Bi_2O_3$* . *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*. Vol18 No.02, hal 17-22.