

Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI) Volume 14 Nomor 3 Tahun 2025, hal 326-333

PENGARUH PENAMBAHAN Bi_2O_3 TERHADAP PENURUNAN FRAKSI BERAT DAN PARAMETER KISI FASA SEKUNDER Mg_2TiO_4 PADA KERAMIK $(\text{Mg}_{0,7}\text{Zn}_{0,3})\text{TiO}_3$

¹⁾Firda D. Pangestuti, ²⁾Frida U. Ermawati

¹⁾Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, e-mail: firdadwi.21002@mhs.unesa.ac.id

²⁾Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, e-mail: frida.ermawati@unesa.ac.id

Abstrak

Keramik MgTiO_3 merupakan material dielektrik yang berpotensi dalam aplikasi telekomunikasi gelombang mikro. Untuk meningkatkan sifat material dielektrik, dilakukan doping menggunakan ion dan *liquid additive agent* (LAA). Makalah ini melaporkan pengaruh penambahan bahan LAA berupa Bi_2O_3 terhadap penurunan fraksi berat dan parameter kisi fasa sekunder Mg_2TiO_4 pada keramik $(\text{Mg}_{0,7}\text{Zn}_{0,3})\text{TiO}_3$ (disingkat MZT03) dengan dan tanpa Bi_2O_3 berdasarkan XRD. Serbuk MZT03 disintesis dengan metode pencampuran larutan, dikalsinasi pada 500 °C selama 4 jam. 4 %wt. Bi_2O_3 ditambahkan melalui *ball milling*. Sebagai pembanding, sebagian serbuk kristalin MZT03 tidak ditambahkan 4 %wt. Bi_2O_3 . Kedua macam serbuk tersebut dikompaksi pada tekanan 9 MPa sehingga menghasilkan pelet. Kedua pelet disinter pada 1100 °C selama 4 jam untuk menghasilkan kedua keramik uji. Data struktur menunjukkan MgTiO_3 merupakan fasa utama pada kedua keramik serta Mg_2TiO_4 sebagai fasa sekunder, dengan %berat fasa Mg_2TiO_4 turun dari 11,55 % (tanpa Bi_2O_3) menjadi 5,02 % (dengan Bi_2O_3), hasil sebaliknya untuk fasa MgTiO_3 . Fakta tersebut menunjukkan bahwa Bi_2O_3 efektif menekan pembentukan fasa Mg_2TiO_4 . Tidak hanya itu, Bi_2O_3 juga mampu menurunkan ukuran parameter kisi fasa Mg_2TiO_4 , parameter $a=b=c$ sebesar $7,542 \times 10^{-2}$ nm (tanpa Bi_2O_3) turun menjadi $7,435 \times 10^{-2}$ nm (dengan Bi_2O_3) penurunan ukuran parameter kisi menyebabkan turunnya volume sel satuan. Uji densitas *bulk* meningkat dari $3,2 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (tanpa Bi_2O_3) menjadi $3,7 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (dengan Bi_2O_3) yang mengindikasikan bahwa penambahan Bi_2O_3 dapat meningkatkan densifikasi keramik. Berdasarkan hasil uji dilatometri, keramik tanpa Bi_2O_3 mengalami penyusutan sebesar 14,17 % pada 1300 °C, sedangkan dengan Bi_2O_3 mencapai 18,05 % pada suhu yang lebih rendah yakni 1080 °C.

Kata Kunci: keramik MZT03; *liquid additive agent*; Bi_2O_3 ; fasa Mg_2TiO_4 ; parameter kisi

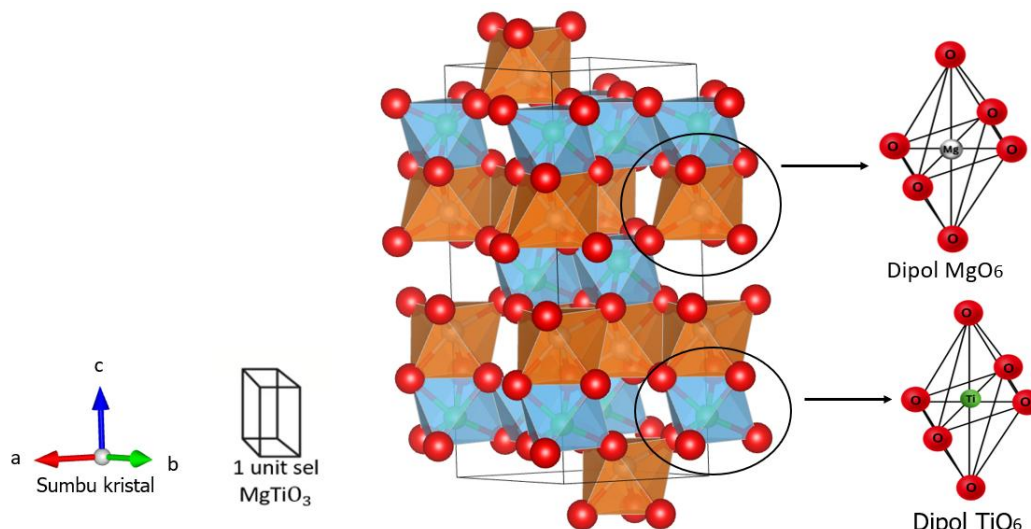
Abstract

MgTiO_3 ceramics are dielectric materials with great potential for microwave telecommunication applications. To improve dielectric properties, doping was carried out using ions and liquid additive agent (LAA). This study reports effect of adding Bi_2O_3 as LAA on reduction of weight fraction and lattice parameters of the secondary phase Mg_2TiO_4 in $(\text{Mg}_{0,7}\text{Zn}_{0,3})\text{TiO}_3$ ceramics (abbreviated as MZT03) with and without Bi_2O_3 based on structures analysis. MZT03 powder was synthesized using solution-mixing method and calcined at 500 °C for 4 hours. 4 % wt. Bi_2O_3 addition was introduced by ball milling, while part of the crystalline MZT03 powder without Bi_2O_3 served as comparison. Both powders were compacted under pressure of 9 MPa become pellets, which were then sintered at 1100 °C for 4 hours to obtain ceramic samples. Structural analysis revealed MgTiO_3 was main phase in both ceramics, while Mg_2TiO_4 appeared as secondary phase. The weight fraction of Mg_2TiO_4 decreased from 11.55 % (without Bi_2O_3) to 5.02 % (with Bi_2O_3), whereas the MgTiO_3 phase showed the opposite trend. This indicates Bi_2O_3 effectively suppresses the formation of the Mg_2TiO_4 phase. Furthermore, Bi_2O_3 reduced lattice parameter of Mg_2TiO_4 phase from $a=b=c = 7.542 \times 10^{-2}$ nm (without Bi_2O_3) to 7.435×10^{-2} nm (with Bi_2O_3), leading to smaller unit cell volume. Bulk density increased from $3.2 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ to $3.7 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, indicating improved densification. Dilatometric analysis showed that shrinkage increased from 14.17% at 1300 °C to 18.05 % at lower temperature of 1080 °C, confirming that Bi_2O_3 lowers sintering temperature through liquid-phase formation that enhances densification.

Keywords: MZT03 ceramics; *liquid additive agent*; Bi_2O_3 ; Mg_2TiO_4 ; lattice parameter

I. PENDAHULUAN

Magnesium titanate ($MgTiO_3$) merupakan material yang berpotensi untuk digunakan dalam berbagai aplikasi dielektrik terutama pada komunikasi gelombang mikro seperti antenna dan resonator [1][2][3]. Hal tersebut dibuktikan melalui fakta bahwa $MgTiO_3$ merupakan material yang memiliki nilai faktor kualitas (Q_f)~336.800 GHz, permitivitas relatif (ϵ_r) = 18.4, koefisien *temperature* -47 ppm/°C [4]. Sifat-sifat dielektrik tersebut hanya dapat dicapai apabila $MgTiO_3$ menjadi fasa utama. $MgTiO_3$ memiliki struktur kristal *ilmenite rhombohedral*, *space group* R-3, tercantum dalam nomor *Powder Diffraction File* (PDF) 06-0494. Komposisi dari $MgTiO_3$ adalah PQO_3 dengan P dan Q adalah representasi dari kation-kation yakni Mg^{2+} dan Ti^{4+} kemudian O adalah anion O^{2-} . **Gambar 1** memberikan ilustrasi 3D struktur kristal $MgTiO_3$.



Gambar 1. Ilustrasi 3D struktur kristal $MgTiO_3$ dalam satu unit sel yang terdiri dari dipol-dipol MgO_6 dan TiO_6 berbentuk *hexagonal close pack* (HCP) [5]

Seperti terlihat pada **Gambar 1**, satu unit sel $MgTiO_3$ berbentuk *hexagonal Close Pack* (HCP) oleh anion O^{2-} dengan kation Mg^{2+} dan Ti^{4+} , membentuk unit dipol listrik permanen MgO_6 dan TiO_6 [6][7][8]. Koordinasi oktahedral ini tersusun dalam pola yang teratur, menciptakan dipol-dipol dalam kisi kristal.

Berbagai strategi fabrikasi keramik $MgTiO_3$, seperti penambahan doping berupa ion atau penambahan bahan LAA telah banyak dilaporkan. Salah satunya oleh Gogoi dkk [6] yang memfabrikasi keramik dengan sistem $(Mg_{1-x}Zn_x)TiO_3$ ($x=0,01; 0,03; 0,05; \text{ dan } 0,07$) menggunakan bahan awal serbuk oksida logam MgO , ZnO , dan TiO_2 , disinter pada $1275^\circ C$ selama 3 jam. $MgTiO_3$ teridentifikasi sebagai fasa utama pada setiap variasi x tersebut, namun pada $x = 0,07$ muncul fasa sekunder $MgTi_2O_5$. Selanjutnya, fabrikasi keramik yang dilaporkan oleh Shan dkk [9] dengan sistem keramik $(Mg_{0,95}Ca_{0,05})TiO_3 - MgO + 0,5 \% \text{ wt. } V_2O_5 + x \% \text{ wt. } CeO_2$ ($x= 0; 0,5; 0,75; 1,0$) menggunakan bahan awal berupa $MgCO_3$, $CaCO_3$, TiO_2 , V_2O_5 , dan CeO_2 , disinter pada $1300^\circ C$ selama 2 jam. $MgTiO_3$ teridentifikasi sebagai fasa utama pada setiap nilai x disertai fasa sekunder $CaTiO_3$. Fasa sekunder lain yang juga muncul yakni $MgTi_2O_5$ pada semua nilai x kecuali $x = 0,75 \% \text{ wt. } CeO_2$. Ma dkk [10] juga melaporkan fabrikasi keramik dengan sistem $MgTiO_3 - x \% \text{ wt. } CuO - Bi_2O_3 - Nb_2O_5 - LiF - SiO_2$ (CBNLS, $4 \leq x \leq 10$) disintesis dengan metode *solid-state reaction* dengan bahan awal berupa serbuk oksida logam MgO dan TiO_2 disinter pada $1100^\circ C$ selama 6 jam. $MgTiO_3$ teridentifikasi sebagai fasa utama disertai fasa sekunder berupa MgO dan $BiTi_2O_6$ pada setiap variasi $x \% \text{ wt. } CBNLS$.

Berdasarkan hasil *review* di atas, masih sulit ditemukan publikasi yang melaporkan penurunan fraksi berat dari fasa sekunder pada sistem keramik $MgTiO_3$ akibat penambahan bahan LAA. Makalah ini dimaksudkan untuk melaporkan fenomena penurunan fraksi berat fasa sekunder Mg_2TiO_4 pada sistem keramik $(Mg_{0,7}Zn_{0,3})TiO_3$ akibat penambahan bahan LAA dibandingkan keramik tanpa bahan LAA. Penurunan parameter kisi dan vol satuan dan juga dibahas pada makalah ini.

II. METODE

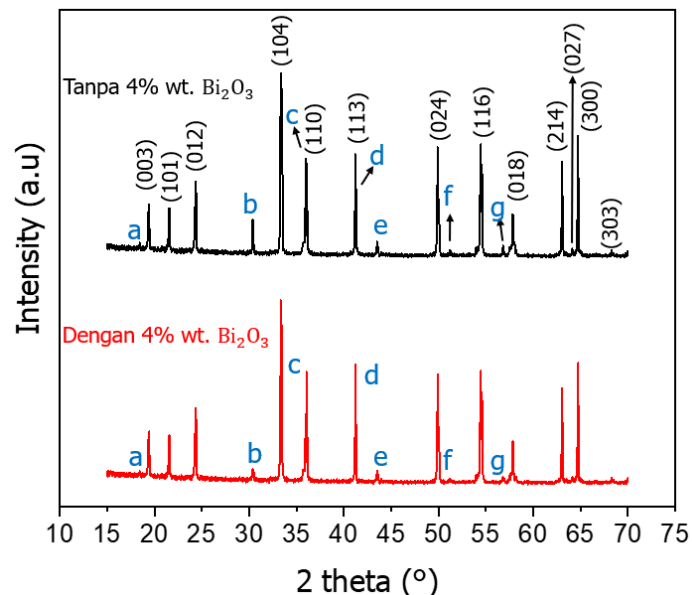
Sintesis, Fabrikasi, dan Karakterisasi

Serbuk $(\text{Mg}_{0.7}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$ (disingkat MZT03) disintesis dengan metode pencampuran larutan menggunakan bahan awal berupa serbuk logam Mg, Ti, dan Zn (Sigma Aldrich, kemurnian >98 %). Ion Zn sengaja ditambahkan dengan tujuan untuk menurunkan suhu kalsinasi menjadi 500 °C, dimana ketika tidak ditambahkan ion Zn suhu pembentukan fasa MgTiO_3 terjadi pada 700 °C. Oleh karena itu, keramik MZT03 dikalsinasi pada 500 °C selama 4 jam. Selanjutnya, Bi_2O_3 ditambahkan pada serbuk kristalin MZT03 dimilling menggunakan *planetary ball mill* dan zirconia balls serta menggunakan etanol 96 % sebagai medium. Setelah proses *milling*, serbuk MZT03 + 4 % wt. Bi_2O_3 dikeringkan untuk menghilangkan sisa-sisa etanol yang terkandung. Sebagai pembanding, sebagian serbuk kristalin MZT03 tidak ditambahkan 4 %wt. Bi_2O_3 . Kedua serbuk (MZT03 dengan dan tanpa Bi_2O_3) dikompaksi dengan *die press* berbentuk silinder berdiameter 8 mm pada tekanan 9 MPa selama 10 detik menghasilkan pelet. Pelet tersebut disinter pada suhu 1100 °C selama 4 jam untuk menghasilkan kedua keramik uji. Karakterisasi struktur kedua keramik dilakukan menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) tipe PANalytical X'Pert Pro dengan radiasi Cu-K α ($\lambda = 1,54056$) pada rentang $2\theta = 15 - 70^\circ$, *step size detector* 0,02 °/menit. Analisis menggunakan perangkat lunak *match!* guna mengetahui fasa-fasa yang terkandung di dalam kedua keramik. Setelah fasa berhasil teridentifikasi, selanjutnya dilakukan *refinement* dengan metode Rietveld menggunakan *software* Rietica untuk mendapatkan data *output* dari fasa yang terkandung di dalam kedua keramik.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

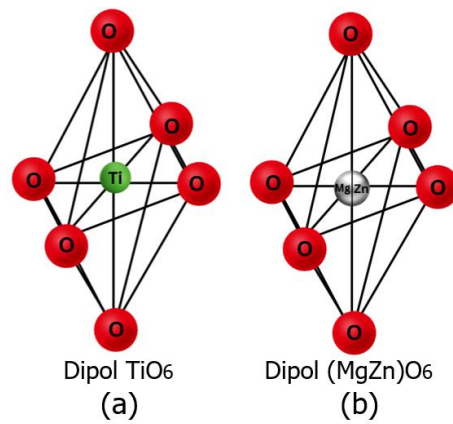
A. Analisis Struktur

Gambar 2 menyajikan hasil karakterisasi XRD keramik MZT03 dengan dan tanpa penambahan Bi_2O_3 . Struktur dipol-dipol oktahedral berupa $(\text{MgZn})\text{O}_6$ dan TiO_6 pada keramik MZT03 ditunjukkan pada Gambar 3. Sementara itu, Gambar 4 menunjukkan perbandingan intensitas puncak-puncak difraksi dari Gambar 2 dengan simbol a-g.



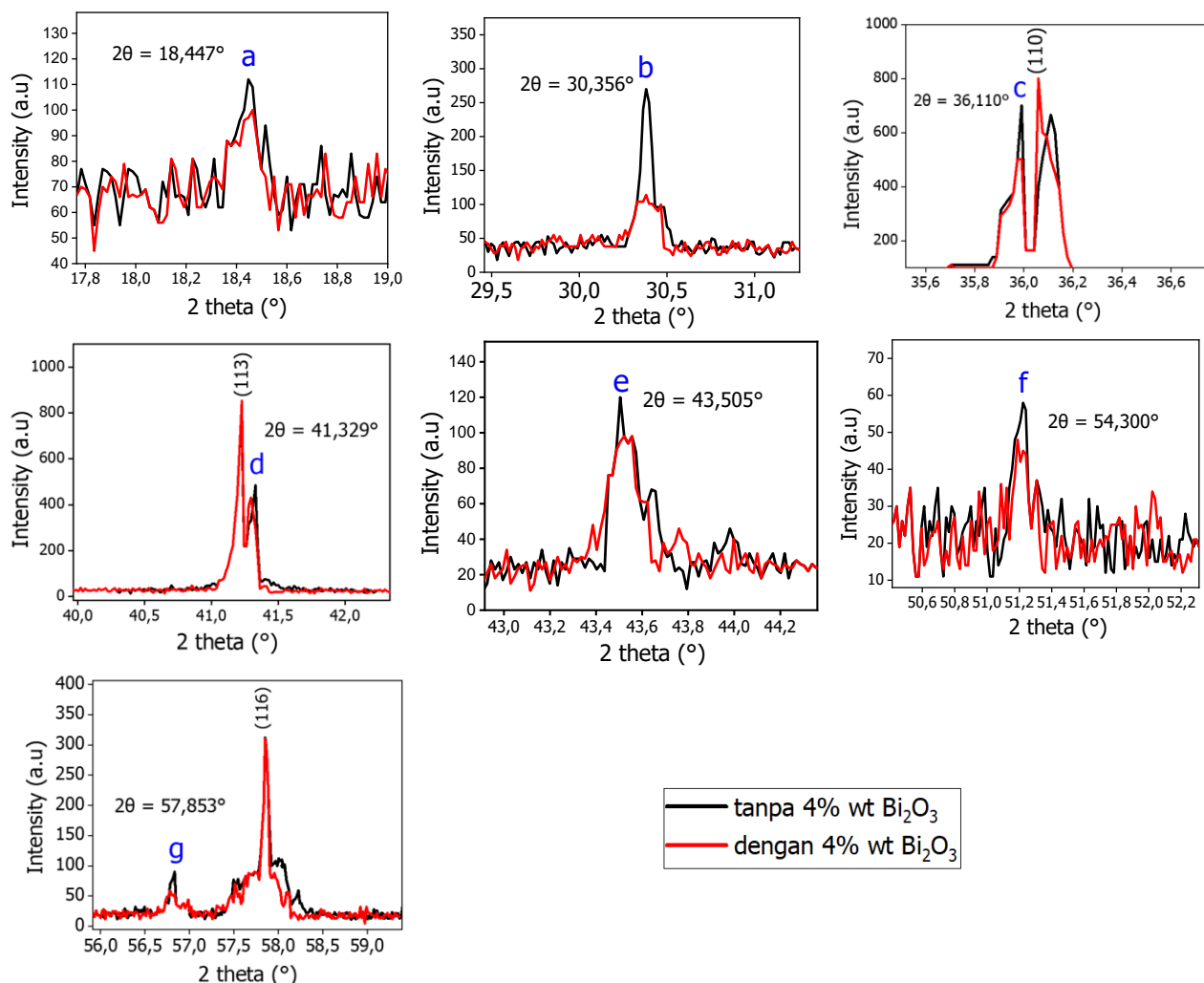
Gambar 2. Pola XRD dari kedua keramik. *hkl*= MgTiO_3 geikelite (PDF No. 06-0494) dan a - g= Mg_2TiO_4 qandilite (PDF No. 25-1157)

Pada Gambar 2, pola XRD keramik MZT03 dengan dan tanpa penambahan Bi_2O_3 teridentifikasi fasa utama berupa MgTiO_3 geikelite (puncak dengan *hkl*, PDF No. 06-0494) serta muncul fasa impuritas berupa Mg_2TiO_4 qandilite (puncak dengan simbol "a - g", PDF No. 25-1157). Tidak terdapat puncak difraksi yang mengandung Zn menandakan bahwa ion Zn^{2+} yang telah ditambahkan tersebut telah berhasil menempati sebagian *site* ion Mg^{2+} pada MgTiO_3 sehingga menghasilkan larutan padat tersubstitusi dengan sistem keramik $(\text{Mg}_{0.7}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$ dengan dipol-dipol $(\text{MgZn})\text{O}_6$ dan TiO_6 (Gambar 3).



Gambar 3. Ilustrasi dipol oktahedral keramik MZT03 seperti pada **Gambar 1.** (a) Dipol TiO_6 yang terbentuk dari kation Ti^{4+} yang dikelilingi oleh enam anion O^{2-} dan (b) unit dipol $(\text{MgZn})\text{O}_6$ yang terbentuk dari substitusi sebagian ion Mg^{2+} oleh Zn^{2+} yang juga dikelilingi enam anion O^{2-} .

Seperti terlihat pada **Gambar 3**, sistem kristal MZT03 terdapat dua jenis dipol yakni TiO_6 dan $(\text{MgZn})\text{O}_6$. Dipol TiO_6 tersusun atas kation Ti^{4+} yang dikelilingi oleh enam anion O^{2-} . Sementara itu, dipol $(\text{MgZn})\text{O}_6$ terbentuk dari kation Mg^{2+} dan Zn^{2+} yang menempati posisi *site* yang sama yang juga dikelilingi oleh enam anion O^{2-} . Keberadaan kedua macam dipol tersebut mempengaruhi mekanisme polarisasi dipolar dalam keramik. Ketika keramik MZT03 diberikan medan listrik eksternal, maka dipol $(\text{MgZn})\text{O}_6$ dan TiO_6 akan berotasi searah dengan arah medan listrik.



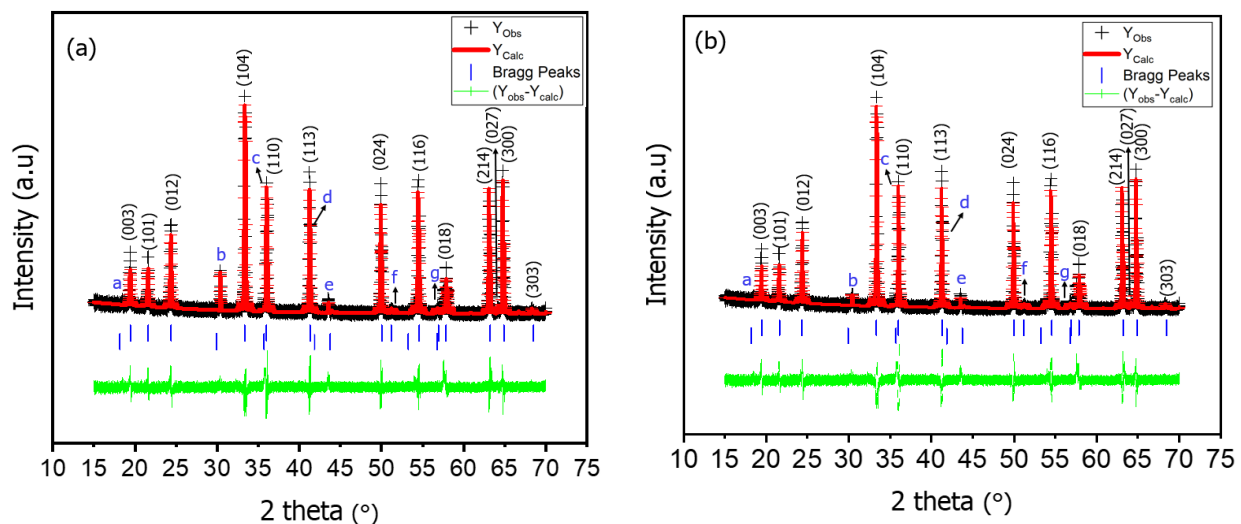
Gambar 4. Perbandingan intensitas puncak difraksi fasa Mg_2TiO_4 (a-g) pada **Gambar 2** antara dengan dan tanpa Bi_2O_3

Keberadaan fasa impuritas yang sama pada **Gambar 2** juga dilaporkan oleh Ding dkk [11] pada sistem keramik $\text{MgTi}_{0.9}\text{Zr}_{0.1}\text{O}_3 - x$ %wt. $2\text{LiF}-\text{Bi}_2\text{O}_3-2\text{Bi}_2\text{O}_3$ (LBB) untuk $x = 1; 2,5; 4; 5,5; 7; \text{ dan } 9$ %wt. Fasa Mg_2TiO_4 tersebut menyertai terbentuknya fasa utama MgTiO_3 pada setiap variasi x %wt. LBB. Seiring dengan naiknya variasi x , intensitas puncak difraksi fasa Mg_2TiO_4 turun. Selain Ding, Zhang dkk [12] juga melaporkan terbentuknya fasa Mg_2TiO_4 tersebut pada sistem keramik $\text{MgTiO}_3 - x$ %wt. Bi_2O_3 ($x = 0,1,2,3,4$ %wt.). Ketika nilai x dinaikkan, puncak intensitas dari fasa Mg_2TiO_4 semakin turun. Dengan penambahan Bi_2O_3 , puncak-puncak difraksi fasa Mg_2TiO_4 (a-g) pada **Gambar 2** terlihat lebih rendah dibandingkan puncak-puncak difraksi milik fasa yang sama ketika tanpa penambahan Bi_2O_3 (pada **Gambar 4**).

Intensitas puncak a-g turun pada **Gambar 4** disebabkan Bi_2O_3 yang mencair pada suhu dibawah 1100°C (pada 817°C). Bi_2O_3 mampu meningkatkan mobilitas ion antarpartikel, mempercepat interaksi antara Mg dan Ti untuk membentuk fasa utama MgTiO_3 , serta dapat menekan pembentukan fasa sekunder Mg_2TiO_4 [13][14]. Fenomena menurunnya intensitas puncak fasa Mg_2TiO_4 akibat penambahan LAA seperti halnya yang dilaporkan oleh Ding [11] dan Zhang [12] juga dilaporkan pada makalah ini.

B. Refinement Pola XRD dan Uji Dilatometri

Gambar 5 menyajikan hasil *refinement* Rietveld menggunakan perangkat lunak Rietica pada pola XRD keramik MZT03 dengan dan tanpa 4 %wt. Bi_2O_3 . *Output refinement* dari **Gambar 2** dan data densitas *bulk* dirangkum pada **Tabel 1** serta profil penyusutan dilatometri ditampilkan pada **Gambar 6**.



Gambar 5. Pola XRD hasil *refinement* dari **Gambar 2** untuk keramik (a) tanpa penambahan 4 %wt. Bi_2O_3 dan (b) dengan penambahan 4 %wt. Bi_2O_3 . Y_{obs} = pola difraksi terukur (*observation*), Y_{calc} = pola difraksi terhitung (*calculation*), *Bragg peaks* = puncak milik fasa-fasa teridentifikasi, $Y_{\text{obs}} - Y_{\text{calc}}$ = selisih antara intensitas terukur (*observation*) dan terhitung (*calculation*), *hkl* = puncak MgTiO_3 (*geikelite*, PDF No. 04-0494, ICSD No. 9657954), a-g = puncak Mg_2TiO_4 (*qandilite*, PDF No. 25-1157, ICSD No. 82912)

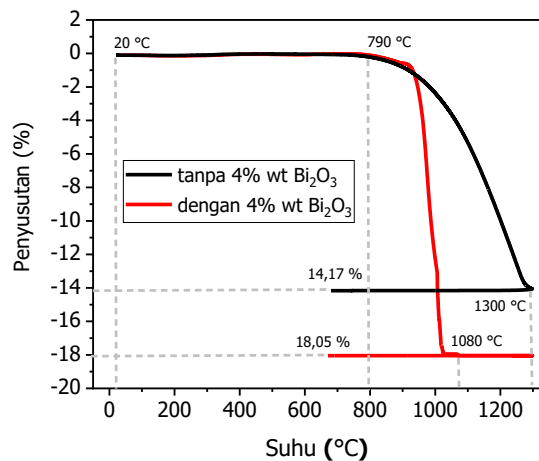
Pada **Gambar 5**, proses *refinement* dinyatakan berhasil karena selisih antara intensitas puncak terukur (*observation*) dan intensitas puncak terhitung (*calculation*) pada posisi 2θ yang sama bernilai nol atau mendekati nol. Selain itu, keberhasilan *refinement* juga dapat dinilai berdasarkan parameter kesesuaian (*Figures of Merit, FoM*), yaitu nilai R_p , R_{wp} , R_b , dan R_{exp} , kurang dari 17 %, serta nilai χ^2 dan GoF kurang dari 4%. Dengan demikian, hasil *refinement* ini dinyatakan valid (*acceptable*) [12][13][17].

Pada **Tabel 1**, kedua keramik teridentifikasi mengandung dua fasa, yaitu MgTiO_3 *geikelite* (fasa utama) dengan space group R-3 dan Mg_2TiO_4 *qandilite* (fasa sekunder) dengan space group Fd-3m. Fraksi berat fasa Mg_2TiO_4 pada keramik tanpa Bi_2O_3 sebesar 11,55 %, kemudian turun menjadi 5,02 % setelah penambahan 4 %wt. Bi_2O_3 . Sebaliknya, fraksi berat fasa MgTiO_3 meningkat dari 88,45 % menjadi 94,98 %. Fenomena ini mengindikasikan bahwa penambahan Bi_2O_3 mampu menekan pembentukan fasa sekunder Mg_2TiO_4 . Hal ini disebabkan oleh sifat Bi_2O_3 yang mencair pada suhu relatif rendah, yaitu 817°C dibandingkan suhu sinter yakni 1100°C , sehingga membentuk fasa cair selama proses sinter. Fasa cair tersebut berperan mengisi pori-pori antarbutir MgTiO_3 , mempercepat difusi atom, serta meningkatkan pemadatan keramik. Akibatnya, interaksi antara Mg dan Ti untuk membentuk fasa utama MgTiO_3 menjadi lebih efisien, sekaligus meminimalisir terbentuknya fasa yang tidak diharapkan, yaitu MgO atau TiO_2 [12][17].

Tabel 1. Output refinement pola XRD dari Gambar 5

MZT03	FoM (Figures of Merit)	Fasa Teridentifikasi	Space group	%berat	Parameter kisi				Vol. Sel satuan ($\times 10^{-2}$) nm^3	Densitas bulk (g.cm^{-3})	
					Sudut antar sisi ($^\circ$)	$\alpha = \beta$	γ	Lattice constant ($\times 10^{-2}$) nm			
Tanpa 4 % wt. Bi_2O_3	R_p	12,67	MgTiO_3	R-3	$88,45 \pm 3,63$	$\alpha = \beta$	90	$a=b$	6,821	$512,90 \pm 0,04$	3,2
	R_{wp}	18,53				γ	120	c	12,716		
	R_{exp}	8,43									
	R_b		Mg_2TiO_4	Fd-3m	$11,55 \pm 1,76$	$\alpha = \beta$	90	$a=b=c$	7,542	$428,37 \pm 0,04$	
	MgTiO_3	7,69				γ					
	Mg_2TiO_4	6,31									
	GoF	3,625									
χ^2	3,134										
Dengan 4 % wt. Bi_2O_3	R_p	12,62	MgTiO_3	R-3	$94,98 \pm 3,25$	$\alpha = \beta$	90	$a=b$	6,654	$428,260 \pm 0,04$	3,7
	R_{wp}	18,57				γ	120	c	12,699		
	R_{exp}	8,43									
	R_b		Mg_2TiO_4	Fd-3m	$5,02 \pm 0,04$	$\alpha = \beta$	90	$a=b=c$	7,435	$410,680 \pm 0,06$	
	MgTiO_3	7,63				γ					
	Mg_2TiO_4	6,24									
	GoF	3,578									
χ^2	3,071										

Selanjutnya, ukuran parameter kisi dari dari fasa Mg_2TiO_4 turun setelah penambahan Bi_2O_3 dari $a=b=c$ sebesar $7,542 \times 10^{-2}$ nm (tanpa Bi_2O_3) menjadi $7,435 \times 10^{-2}$ nm (dengan Bi_2O_3). Tren serupa juga terjadi pada fasa MgTiO_3 , dimana parameter $a=b$ turun dari $6,821 \times 10^{-2}$ nm (tanpa Bi_2O_3) menjadi $6,654 \times 10^{-2}$ nm (dengan Bi_2O_3), sedangkan parameter c turun dari $12,716 \times 10^{-2}$ nm menjadi $12,699 \times 10^{-2}$ nm. Penurunan ukuran parameter kisi secara langsung menyebabkan penurunan ukuran volume sel satuan. Untuk fasa Mg_2TiO_4 , volume sel satuan turun dari $428,37 \times 10^{-2}$ nm (tanpa Bi_2O_3) menjadi $410,680 \times 10^{-2}$ nm (dengan Bi_2O_3), penurunan serupa juga terjadi pada fasa MgTiO_3 , yakni dari $512,90 \times 10^{-2}$ nm (tanpa Bi_2O_3) menjadi $428,260 \times 10^{-2}$ nm (dengan Bi_2O_3). Penurunan ukuran parameter kisi dan volume sel satuan mengindikasikan terjadinya perubahan struktur kristal akibat penambahan Bi_2O_3 sebagai bahan LAA. Bi_2O_3 membentuk fasa cair yang mempercepat reaksi antar partikel selama proses sinter. Fasa cair ini membantu penyusunan ulang atom dan memperpadat struktur kristal, sehingga jarak antar atom menjadi lebih pendek. Sebagai fasa cair, Bi_2O_3 berperan dalam memfasilitasi difusi antar partikel dan meningkatkan densifikasi, yang pada akhirnya menyebabkan penyusutan parameter kisi dan penurunan volume sel satuan. Fakta tersebut selaras dengan peningkatan nilai densitas *bulk* dari $3,2 \text{ g.cm}^{-3}$ pada keramik tanpa Bi_2O_3 menjadi $3,7 \text{ g.cm}^{-3}$ pada keramik dengan penambahan Bi_2O_3 . Turunnya parameter kisi menunjukkan bahwa jarak antar atom dalam struktur kristal semakin pendek akibat adanya proses densifikasi. Penyusutan jarak antar atom ini menyebabkan susunan butir menjadi lebih rapat dan porositas berkurang, yang ditandai dengan meningkatnya nilai densitas *bulk* pada keramik dengan penambahan Bi_2O_3 , hal tersebut juga dapat dikonfirmasi melalui profil penyusutan dilatometri (**Gambar 6**).



Gambar 6. Profil penyusutan dilatometri keramik MZT03 tanpa maupun dengan penambahan Bi_2O_3

Seperti terlihat pada **Gambar 6**, pada rentang suhu 20 – 790 °C kedua kurva masih mendatar, menandakan belum terjadi penyusutan. Namun, pada suhu 790 °C kedua kurva mulai mengalami penyusutan. Keramik tanpa Bi_2O_3 mengalami penyusutan dengan persentase sebesar 14,17 % pada 1300 °C, sedangkan keramik dengan penambahan Bi_2O_3 menunjukkan persentase penyusutan lebih besar, yaitu 18,05 %, pada suhu yang lebih rendah, yakni 1080 °C. Fenomena ini mengindikasikan bahwa penambahan Bi_2O_3 mampu menurunkan suhu sinter melalui pembentukan fasa cair yang mempercepat proses densifikasi, sehingga struktur kristal menjadi lebih rapat dan ukuran parameter kisi dan volume sel satuan pada kedua fase mengalami penurunan.

IV. PENUTUP

A. Kesimpulan

Fabrikasi dan karakterisasi keramik MZT03 dengan dan tanpa Bi_2O_3 yang disinter pada 1100 °C selama 4 jam telah dilakukan. Kedua keramik teridentifikasi fasa utama MgTiO_3 disertai kehadiran fasa sekunder berupa Mg_2TiO_4 . Fraksi berat fasa Mg_2TiO_4 turun dari 11,45 % menjadi 5,02 % setelah ditambahkan Bi_2O_3 . Penurunan ini menunjukkan bahwa Bi_2O_3 efektif dalam menekan pembentukan fasa Mg_2TiO_4 hal tersebut juga ditandai dengan menurunnya intensitas puncak fasa Mg_2TiO_4 pada pola XRD. Selain itu, Penambahan 4 %wt. Bi_2O_3 pada keramik MZT03 menyebabkan penurunan ukuran parameter kisi pada kedua fasa, baik MgTiO_3 maupun Mg_2TiO_4 . Pada fasa Mg_2TiO_4 , parameter kisi $a = b = c$ turun dari $7,542 \times 10^{-2}$ nm menjadi $7,435 \times 10^{-2}$ nm, dengan selisih sebesar $1,07 \times 10^{-3}$ nm. Sementara itu, pada fasa MgTiO_3 , parameter kisi $a = b$ turun dari $6,821 \times 10^{-2}$ nm menjadi $6,654 \times 10^{-2}$ nm, dengan penurunan sebesar $1,67 \times 10^{-3}$ nm. Parameter c pada fasa ini juga menunjukkan penurunan dari $12,716 \times 10^{-2}$ nm menjadi $12,699 \times 10^{-2}$ nm, atau sebesar $0,017 \times 10^{-2}$ nm. Penurunan ukuran parameter kisi tersebut mengindikasikan adanya penyusutan struktur kristal akibat penambahan Bi_2O_3 . Selaras dengan hal tersebut, hasil uji dilatometri menunjukkan bahwa keramik dengan penambahan Bi_2O_3 memiliki persentase penyusutan lebih besar, yaitu 18,05%, sedangkan keramik tanpa Bi_2O_3 menunjukkan penyusutan akhir yang lebih kecil, yakni 14,17%. Data ini konsisten dengan hasil uji densitas bulk, di mana densitas meningkat dari $3,2 \text{ g cm}^{-3}$ (tanpa Bi_2O_3) menjadi $3,7 \text{ g cm}^{-3}$ (dengan Bi_2O_3).

B. Saran

Diperlukan penelitian lebih lanjut dengan menambah variasi fraksi berat Bi_2O_3 untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai pengaruh jumlah penambahan bahan LAA terhadap perubahan parameter kisi, nilai densitas *bulk*, dan struktur mikro dari keramik uji.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Fu, C. Chen, Y. She, Z. Yang, and C. Li, "A/B Site Modified MgTiO_3 Dielectric Ceramics for Microwave Application," *Integr. Ferroelectr.*, vol. 230, no. 1, pp. 78–84, 2022, doi: 10.1080/10584587.2022.2102800.
- [2] L. Zendya and F. U. Ermawati, "Pengaruh Variasi Tekanan Kompaksi Terhadap Mikrostruktur Dan Abstrak," *J. Inov. Fis. Indones.*, vol. 09, no. 02, pp. 145–151, 2020.
- [3] A. Kadarosman and F. U. Ermawati, "The Use of $(\text{Mg}_{0.9}\text{Zn}_{0.1})\text{TiO}_3 + 2 \text{ wt.}\% \text{ Bi}_2\text{O}_3$ Ceramics as A Dielectric Resonator Oscillator Material and Characterisation of Structure, Microstructure, and Density," *J. Neutrino*, vol. 13, no. 2, pp. 67–79, 2021, doi: 10.18860/neu.v13i2.11720.
- [4] Z. Ren *et al.*, "Enhanced quality factor ($\sim 336,800 \text{ GHz}$) of MgTiO_3 ceramic by Hf substitution for Ti-site," *Ceram. Int.*, vol. 50, no. 6, pp. 9861–9868, 2024, doi: 10.1016/j.ceramint.2023.12.308.
- [5] N. Kuganathan, P. Iyngaran, R. Vovk, and A. Chroneos, "Defects, dopants and Mg diffusion in MgTiO_3 ," *Sci. Rep.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–9, 2019, doi: 10.1038/s41598-019-40878-y.
- [6] P. Gogoi, L. R. Singh, and D. Pamu, "Characterization of Zn doped MgTiO_3 ceramics" *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 28, no. 16, pp. 11712–11721, 2017, doi: 10.1007/s10854-017-6975-6.
- [7] P. Gogoi, L. R. Singh, and D. Pamu, "Low temperature synthesis and characterization of nanocrystalline $\text{Mg}(\text{Zr}_{0.05}\text{Ti}_{0.95})\text{O}_3$ ceramics," *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 101, no. 12, pp. 5389–5399, 2018, doi: 10.1111/jace.15864.
- [8] N. Santha, M. Rakhi, and G. Subodh, "Fabrication of high quality factor cold sintered MgTiO_3 -NaCl microwave ceramic composites," *Mater. Chem. Phys.*, vol. 255, no. July, p. 123636, 2020, doi: 10.1016/j.matchemphys.2020.123636.
- [9] Y. Shan, Y. Lu, X. Guo, and H. Zhou, "Microwave dielectric properties of $\text{V}_2\text{O}_5/\text{CeO}_2$ doped $(\text{Mg}_{0.95}\text{Ca}_{0.05})\text{TiO}_3$ -MgO and their application to a dielectric filter," *Int. J. Appl. Ceram. Technol.*, vol. 21,

- no. 5, pp. 3601–3611, 2024, doi: 10.1111/ijac.14762.
- [10] J. Ma, X. Zhang, and Z. Yang, “Effect of Glass Additions on Sintering Behavior and Dielectric Properties of MgTiO_3 Ceramics,” *Integr. Ferroelectr.*, vol. 231, no. 1, pp. 126–132, 2023, doi: 10.1080/10584587.2022.2143188.
- [11] L. Ding, H. Ma, and M. Song, “Dielectric Properties of Low-Fired $\text{MgTi}_{0.9}\text{Zr}_{0.1}\text{O}_3$ Ceramics with LBB Additive for LTCC Applications,” *Integr. Ferroelectr.*, vol. 232, no. 1, pp. 74–80, 2023, doi: 10.1080/10584587.2023.2173443.
- [12] X. L. Zhang, F. Hua, X. Wang, and H. F. Peng, “Effect of B_2O_3 Doping on Sintering Properties of Nanometer Mn-Zn Ferrites,” *Rengong Jingti Xuebao/Journal Synth. Cryst.*, vol. 47, no. 9, 2021.
- [13] D. Yulianti and F. Ermawati, “Analisis Struktur dan Mikrostruktur Fasa Tunggal $(\text{Mg}_{0.9}\text{Zn}_{0.1})\text{TiO}_3/\text{Bi}_2\text{O}_3$,” vol. 8, 2019.
- [14] Q. L. Zhang, H. Yang, and J. X. Tong, “Low-temperature firing and microwave dielectric properties of MgTiO_3 ceramics with $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-V}_2\text{O}_5$,” *Mater. Lett.*, vol. 60, no. 9–10, pp. 1188–1191, 2006, doi: 10.1016/j.matlet.2005.10.105.
- [15] W. Che, Z. Liu, Y. Wang, and J. Liu, “Merit: multi-level graph embedding refinement framework for large-scale graph,” *Complex Intell. Syst.*, vol. 10, no. 1, pp. 1303–1318, 2024, doi: 10.1007/s40747-023-01211-3.
- [16] T. Runčevski and C. M. Brown, “The Rietveld Refinement Method: Half of a Century Anniversary,” *Cryst. Growth Des.*, vol. 21, no. 9, pp. 4821–4822, 2021, doi: 10.1021/acs.cgd.1c00854.
- [17] F. Ermawati, *Difraksi Sinar-X: Teori dan Analisis Data*. 2018.
- [18] T. S. Kumar, D. Goswami, and D. Pamu, “Liquid Phase Effect of Bi_2O_3 and La_2O_3 on Densification, Microstructure and Microwave Dielectric Properties of MgTiO_3 ceramics,” *J. Ceram. Sci. Technol.*, vol. 4, no. 3, pp. 145–150, 2013, doi: 10.4416/JCST2013-00004.
- [19] D. Nisa’ and F. U. Ermawati, “Fabrikasi Keramik $(\text{Mg}_{0.6}\text{Zn}_{0.4})\text{TiO}_3 + x$ wt.% Bi_2O_3 Hasil Sintesis dengan Metode Pencampuran Larutan dan Pengaruh Variasi x wt.% Bi_2O_3 Terhadap Struktur dan Densitas Keramik,” *Inov. Fis. Indonesia.*, vol. 9, no. 2, pp. 15–20, 2020, doi: 10.26740/ifi.v9n2.p15-20.