

TUGAS AKHIR - SF 141501

PENGARUH PENAMBAHAN V₂O₅-Bi₂O₃ TERHADAP SINTERING DAN KARAKTERISTIK MATERIAL DIELEKTRIK Mg_{0,8}Zn_{0,2}TiO₃

HILDA AVIANTI NRP 01111440000065

Dosen Pembimbing Prof. Dr. Suasmoro, DEA

DEPARTEMEN FISIKA Fakultas Ilmu Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - SF 141501

PENGARUH PENAMBAHAN V₂O₅-Bi₂O₃ TERHADAP SINTERING DAN KARAKTERISTIK MATERIAL DIELEKTRIK Mg_{0,8}Zn_{0,2}TiO₃

HILDA AVIANTI NRP 01111440000065

Dosen Pembimbing Prof. Dr. Suasmoro, DEA

DEPARTEMEN FISIKA Fakultas Ilmu Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2018



FINAL PROJECT - SF 141501

INFLUNCES OF V_2O_5 -Bi₂O₃ ADDITION TO SINTERING AND CHARACTERISTIC OF DIELECTRIC MATERIAL $Mg_{0,8}Zn_{0,2}TiO_3$

HILDA AVIANTI NRP 01111440000065

Advisor Prof. Dr. Suasmoro, DEA

Department of Physics Faculty of Natural Sciences Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2018

PENGARUH PENAMBAHAN V₂O₅-Bi₂O₃ TERHADAP SINTERING DAN KARAKTERISTIK MATERIAL DIELEKTRIK Mg_{0,8}Zn_{0,2}TiO₃

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Sains Pada Departemen Fisika Fakultas Ilmu Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember

> Oleh: HILDA AVIANTI

NRP. 01111440000065

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Prof. Dr. Suasmoro, DEA NOLOGI OGI SEPUL ILM. RABAYA 20 DEPARLEMEN FIGH

PENGARUH PENAMBAHAN V₂O₅-Bi₂O₃ TERHADAP SINTERING DAN KARAKTERISTIK MATERIAL DIELEKTRIK Mg_{0,8}Zn_{0,2}TiO₃

Nama	: Hilda Avianti
NRP	: 01111440000065
Departemen	: Fisika, FIA ITS
Pembimbing	: Prof. Suasmoro, DEA

Abstrak

Sintesis material 0,9MZT-xV₂O₅-yBi₂O₃ telah berhasil dilakukan dengan metode solid state reaction. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menurunkan temperature sintering Mg_{0.8}Zn_{0.2}TiO₃ dari 1350°C menjadi 950°C dengan penambahan 10% V₂O₅-Bi₂O₃ serta mengetahui perubahan sifat dielektrik material Mg_{0.8}Zn_{0.2}TiO₃. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah komposisi persen mol dari penambahan material V₂O₅ dan Bi₂O₃. Sintesis dilakukan dengan alat Atrittor rotary selama 6 jam dengan kecepatan 600 rpm. Sampel yang telah disintesis kemudian dikompaksi serta disinter pada temperatur 950°C. Sampel diuji dengan pengujian XRD, densitas, dan dielektrik. Penelitian ini menggunakan variasi komposisi molaritas untuk V₂O₅ vakni 3%, 5%, dan 7%. Dari pengujian tersebut diperoleh sampel yang paling bagus pada variasi 3%mol V₂O₅. Sampel tersebut memiliki 4 fasa yaitu fasa MZT, Bi₄V_{1.5}Ti_{0.5}O_{10.85}, Bi₂Ti₂O₇, dan MgTi₂O₅ dengan hasil densitas relatif sebesar 99,16%. Rata-rata nilai permitivitas relatif (ε_r) pada daerah dipol polarisasi variasi 3% mol V₂O₅ sebesar 22,751. Hasil ini lebih besar dibandingkan dengan variasi lainnya. Sehingga dari semua hasil penelitian yang diperoleh, material V₂O₅ dan Bi₂O₃ berhasil menurunkan sintering temperatur menjadi 950°C serta memperbaiki sifat listrik material dielektrik Mg_{0.8}Zn_{0.2}TiO₃

Kata Kunci : Densitas, polarisasi, sifat dielektrik, sintering, *solid state reaction*.

INFLUNCES OF V₂O₅-Bi₂O₃ ADDITION TO SINTERING AND CHARACTERISTIC OF DIELECTRIC MATERIAL Mg_{0,8}Zn_{0,2}TiO₃ Name : Hilda Avianti NRP : 01111440000065 Department : Physics, FIA ITS

: Prof. Suasmoro, DEA

Abstract

Advisor

The synthesis $0,9MZT-xV_2O_5-yBi_2O_3$ material has been successfully performed by solid reaction method. The purpose of this research is to reduce sintering temperature of $Mg_{0.8}Zn_{0.2}TiO_3$ from $1350^{\circ}C$ to $950^{\circ}C$ with V_2O_5 - Bi_2O_3 addition and investigate the dielectric properties of Mg_{0.8}Zn_{0.2}TiO₃. The variation used in this research is the composition of 10% percent mol V_2O_5 -Bi₂O₃ addition. Synthesis was performed by means of rotary Atrittor for 6 hours with a speed of 600 rpm. The synthesized samples were then compressed and sintered at 950. Samples were tested with XRD, density, and dielectrical measurement. This final project use variation of molar presentage composition of V_2O_5 that are 3%, 5%, and 7%. From the test, the best samples were obtained at 3%mol V_2O_5 . The sample has 3 phase ie MZT phase, $Bi_4V_{1.5}Ti_{0.5}O_{10.85}$, $Bi_2Ti_2O_7$, and $MgTi_2O_5$ with the result of Relative density 99,16%. The relative permitivity at dipole polarization area of variation 3%mol V_2O_5 is 22,751. This result is bigger than the other variation. So from all the results obtained, V_2O_5 and Bi_2O_3 material managed to lower the sintering temperature to 950°C and possess excellent material dielectric Mg_{0.8}Zn_{0.2}TiO₃

Keywords: Density, dielectric properties, polarization, sintering, solid state reaction.

KATA PENGANTAR

Penulis ucapkan Alhamdulillahi robbil'alamin. Segala Puji bagi Allah SWT karena atas berkah, rahmat, dan petunjukNya yang diberikan kepada kami sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan sebaik-baiknya. Shalawat dan salam senantiasa penulis sampaikan kepada Rasulullah Muhammad SAW yang telah menjadi teladan dan menuntun kami dari zaman kebodohan menuju kebenaran. Alhamdulillah atas izin Allah SWT. penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir (TA) ini dengan judul : "Pengaruh Penambahan V₂O₅-Bi₂O₃ Terhadap Sintering dan Karakteristik Material Dielektrik Mg_{0.8}Zn_{0.2}TiO₃" sebagai syarat untuk menyelesaikan pendidikan Sarjana di Departemen Fisika ITS.

Tugas Akhir dapat diselesaikan atas doa, dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih sebanyak-banyaknya kepada:

- 1. Ayahanda Moch Ilham S dan Ibunda Hemi Triana atas motivasi, nasehat, kasih sayang, dan terus mendoakan kepada penulis.
- 2. Prof. Dr. Suasmoro, DEA selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memotivasi, membimbing, dan mengarahkan penulis dengan penuh kesabaran hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini dengan baik.
- 3. Adik Andiko Hilmansyah dan Dion Hilmawan S untuk dukungannya selama penulis mengerjakan tugas akhir.
- 4. Seluruh dosen di departemen Fisika FIA ITS atas wawasan ilmu yang telah diberikan kepada penulis.
- 5. *Partner* riset Sefrilita Risqi Adikaning Rani yang dengan sabar membantu menyelesaikan tugas akhir ini.
- 6. Kakak-kakak tim Riset Laboratorium Keramik, Fitriana, S.Si, Umi Nur A, M.Si., Pulung Subuh N, S.Si., Farid S.Si., serta

teman-teman seperjuangan Tugas Akhir Yhuanita Nurul Kaukaba, Setiyono, dan Dani Alqori yang telah membantu dalam pengambilan data penelitian maupun yang telah bersedia meluangkan waktu untuk berdiskusi dengan penulis.

- 7. Partner-ku M. Arif H. yang selalu memberi semangat dan motivasi.
- 8. Teman-temanku, keluarga besar Antares 2014 yang selalu ada dalam suka dan duka.
- 9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu dalam penelitian dan penyusunan Tugas Akhir ini.

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini kami menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang harus diperbaiki. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat kami harapkan. Diluar kekurangan tersebut, semoga Tugas Akhir ini dapat menjadi referensi masyarakat luas.

> Surabaya, Juli 2018 Penulis, Hilda Avianti

Г	DAFTAR	ISI
		1.51

Halaman Judul	i
Cover page	ii
Lembar Pengesahan	iii
Abstrak	iv
Abstract	v
Kata Pengantar	vi
Daftar Isi	viii
Daftar Gambar	X
Daftar Tabel	xi
Daftar Lampiran	xii
BAB I PENDAHULUAN	I
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Magnesium Titanat (MZT)	5
2.2 Vanadium Pentaoksida (V ₂ O ₅)	7
2.3 Bismuth oksida (Bi ₂ O ₃)	9
2.4 Sintering	10
2.5 Karakteristisasi dielektrik	13
BAB III METODOLOGI	17
3.1 Alat dan bahan	17
3.1.1 Alat	17
3.1.2 Bahan	17
3.2 Prosedur Kerja	17
3.2.1 Sintesis (Mg/Zn)TiO ₃	17

3.2.3 Karakterisasi XRD	18
3.2.4 Pengujian densitas	
3.3.5 Karakterisasi sifat dielektrik	19
3.2.6 Diagram alir penelitian	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Sintesis material dasar	23
4.2 Sintesis material 0,9MZT-xV2O5-yBi2O3	25
4.3 Densifikasi	
4.4 Sifat Dielektrik	
BAB V PENUTUP	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur (Mg/Zn)TiO3 (software Diamond)6
Gambar 2.2 Diagram fasa MgO-TiO ₂
Gambar 2.3 Pola XRD V ₂ O ₅ dengan struktur nano8
Gambar 2.4 Stuktur kristal Bi ₂ O ₃ monoklinik9
Gambar 2.5 Sketsa model dua bola ideal perbandingan
struktur mikro dari (a) Sintering fasa padat (b)
Sintering fasa cair12
Gambar 2.6 (a) Dua partikel pada initial stage tanpa
penyusutan (b) dua partikel pada initial stage
dengan
penyusutan13
Gambar 2.7 Variasi (a) konstanta dielektrik (ɛ) dan (b)
dielektrik loss (ɛ') terhadap frekuensi16
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian20
Gambar 4.1 Hasil analisa Rietveld pada Mg _{0,8} Zn _{0,2} TiO ₃
kalsinasi 850°C dengan holding time 4 jam24
Gambar 4.2 Pola difraksi sinar-x pada material MZT dan
$0,9MZ1- XV_2O_5-yB1_2O_3$ dengan temperatur sintering
Gambar 4 3 Hasil analisa Rietveld pada 0 9MZT-0 03V ₂ O ₅ -
0.07Bi ₂ O ₃
Gambar 4.4Grafik hubungan variasi komposisi terhadap
densitas relative
Gambar 4.5 Hubungan antara permitivitas relative terhadap
log frekuensi
Gambar 4.6 Hubungan antara factor disipasi terhadap log
frekuensi44
Gambar 4.7 Hubungan antara konduktivitas dielektrik
terhadap log frekuensi46
Gambar 4.8 Hubungan antara factor kualitas terhadap log
frekuensi8

DAFTAR TABEL

penelitian
-masing
35
dipol
erah dipol
49

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A DATA BASE SAMPLE	59
LAMPIRAN B PERHITUNGAN KOMPOSISI	73
LAMPIRAN C DATA HASIL MATCH	78
LAMPIRAN D HASIL PERHITUNGAN DENSITA	AS89
LAMPIRAN E UJI LISTRIK	93

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penelitian terus dilakukan untuk mendapatkan suatu material dengan efisiensi kerja yang diinginkan. Salah satu pengembangan yang terus dilakukan adalah material berbasis keramik. Aplikasi bidang keramik yang banyak digunakan microwave. Microwave memiliki adalah desain serta manfaat yang dapat digunakan sebagai perangkat multilayer dengan kinerja elektroda listrik yang baik dengan menggunakan logam elektroda konduktif internal yang tinggi seperti perak atau tembaga. Salah satu jenis bahan dielektrik dengan sifat microwave dielektrik yang baik adalah MgTiO3. Material ini cocok digunakan untuk microwave dielectric resonators, termasuk dalam teknologi jaringan internet karena material ini memiliki nilai dielektrik yang konstan, low dielectric loss yang ditandai dengan tingginya quality factor serta memiliki temperatur yang stabil (Ermawati et al,2016).

MgTiO₃ disinter pada temperatur di atas 1300° C. Oleh karena itu, perlu untuk menurunkan suhu sintering keramik dielektrik agar bisa mengolah keramik beserta bahan elektroda. Untuk menurunkan temperaturnya, digunakan doping yang memiliki titik leleh yang lebih rendah ke dalam *host*. Doping yang cocok adalah *bismuth oxide* (Bi₂O₃) yang memiliki titik leleh sebesar 817°C. Penambahan doping Bi₂O₃ sebanyak 4% mol dapat menurunkan temperatur sintering dari 1350° C menjadi 1100° C (Saukani, 2015). Dalam penelitian lain, Bi₂O₃-V₂O₅ dipilih sebagai *co-firing* untuk menurunkan suhu sintering keramik MgTiO₃ dan memperbaiki sifat dielektrik microwave. Selain itu struktur

mikro yang disinter pada suhu rendah dari keramik MgTiO₃ juga berhubungan dengan sifat dielektrik *microwave*nya (Zhang, 2006). Material (Zn,Mg)TiO₃ yang dicampur dengan B₂O₃-SiO₂-ZnO-Na₂O menggunakan satellite milling dan disinter pada suhu 950°C menghasilkan material yang baik. Dalam penelitian sebelumnya, suhu sintering Mg/ZnTiO₃ berkurang dari 1200 menjadi 875 ° C dengan penambahan V₂O₅ yang memanfaatkan proses *semi-chemical*. V₂O₅ berperan sebagai *liquid phase* sehingga dapat mempercepat proses pertumbuhan butir. Selain itu dapat membantu butir untuk bergerak dengan mudah dan menyebabkan lebih banyak pertumbuhan butir.

Untuk memperbaiki sifat material dielektrik (Mg/ZnTiO₃), kami melakukan penambahan V₂O₅-Bi₂O₃. Diketahui bahwa vanadium oksida (V₂O₅) memiliki titik leleh sebesar 690°C, sedangkan *bismuth oxide* (Bi₂O₃) memiliki titik leleh sebesar 817°C. Maka dari itu Bi₂O₃-V₂O₅ dipilih sebagai *co-sintering agent* untuk menurunkan suhu sintering keramik MgTiO₃ dan memperbaiki sifat dielektrik *microwave*. Pada penelitian kali ini diharapkan kita dapat mengetahui fasa kristal, mikrostruktur, dan sifat dielektrik dari keramik MgTiO₃ yang ditambahkan dengan Bi₂O₃-V₂O₅.

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah dari penelitian tugas akhir ini adalah bagaimana pengaruh penambahan $10\% V_2O_5$ -Bi₂O₃ terhadap temperature sintering dan karakteristik material $Mg_{0.8}Zn_{0.2}TiO_3$.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menurunkan temperature sintering $Mg_{0.8}Zn_{0.2}TiO_3$ dari 1350°C menjadi <1000°C dengan penambahan 10% V_2O_5 -Bi₂O₃ serta mengetahui perubahan sifat dielektrik material $Mg_{0.8}Zn_{0.2}TiO_3$.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian tugas akhir ini bermanfaat bagi berbagai pihak yaitu penulis, pembaca, laboratorium, Institut dan perkembangan ilmu pengetahuan. Penulis dapat mengembangkan kemampuannya dalam bekerja di laboratorium sehingga dapat menganalisa dan mencari alternatif suatu masalah, serta menghasilkan suatu penelitian. Bagi pembaca, penelitian ini memberikan wawasan baru mengenai material Mg_{0.8}Zn_{0.2}TiO₃-V₂O₅-Bi₂O₃. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang sintesis Mg_{0.8}Zn_{0.2}TiO₃ sebagai bahan dielektrik dengan menggunakan metode solid state.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Magnesiun Titanat

MgTiO₃ merupakan salah satu bahan dielektrik yang memiliki struktur *ilmenite* yang tersusun dalam *Hexagonal Close Packing* (HCP). MgTiO₃ merupakan material yang banyak dikembangkan pada berbagai bidang seperti resonansi, antena dielektrik, serta microwave. Material ini dapat diaplikasikan dalam sistem komunikasi seperti telepon seluler, satelit siaran langsung, dan sistem penentuan posisi global yang telah berkembang pesat dalam dekade terakhir (Werising, 1991). Keuntungan menggunakan resonator dielektrik yaitu pengurangan ukuran gelombang mikro. Material dielektrik harus memenuhi tiga persyaratan, yaitu tingginya konstanta dielektrik (ε_r), tingginya faktor kualitas (*Qxf*) karena diperlukan untuk mencapai selektifitas frekuensi tinggi, penstabilan dalam hal pemancaran dan penerimaan pada komponen, serta koefisien temperatur yang rendah atau mendekati nol pada saat terjadi frekuensi resonansi (t_f). Nilai konstanta dielektrik yang baik adalah (er> 20), serta loss dielectric yang bernilai (Q> 5000, di mana Q = $1/\tan \delta$). Ketiga parameter ini berhubungan dengan ukuran, frekuensi, serta stabilitas suhu pada suatu sistem. Untuk memenuhi kebutuhan desain rangkaian gelombang mikro, masing-masing properti dielektrik harus dikontrol dengan tepat. Magnesium titanat (MgTiO₃: $\epsilon r \sim 17$, Q \times f bernilai ~ 160 α pada 7 GHz dan nilai nol pada τ_f). Temperatur sintering magnesium titanat cukup tinggi, yaitu sekitar 1350° C. Untuk menurunkan temperaturnya, digunakan doping yang memiliki titik leleh dari lebih rendah ke dalam host. (Huang J. B. 2015)



Gambar 2.1 Struktur (Mg/Zn)TiO3 (software Diamond)

Magnesium titanat (MgTiO₃) memiliki space group R-3H. MgTiO₃ dengan sistem kristal trigonal (*hexagonal axes*), dan parameter kisi masing-masing a = b = 5,0548 Å, c = 13,8992 Å. Magnesium titanat memiliki berbagai macam fase stabil. Diantara fase stabil MgTiO₃ (*Geikelite*) yaitu fase MgTi₂O₅ (*Pseudobrookite*) dan Mg₂TiO₄ (*Spinel*) (gambar 2.1). (B. A. Wechsler dan R. B. Von Dreele, 1989).



Gambar 2.2 Diagram fasa MgO-TiO₂ (Wechsler and Navrotsky, 1984)

Zinc Oksida (ZnO) merupakan bahan dengan struktur nano telah banyak dikembangkan dalam bidang elektronik, optik dan photonik sejak tahun 1960. Studi tentang bahan ini telah menjadi utama dalam bidang nanosains dan nanoteknologi. Manfaat ZnO tidak hanya untuk memahami fenomena mendasar dalam sistem dimensi rendah, tetapi juga mengembangkan generasi baru nanodevice dengan kinerja yang tinggi (Morkoç dan Özgür, 2008).

ZnO merupakan bahan dengan stuktur *hexagonal* ZnO dapat dikombinasikan dengan elektromekanis yang besar. Kombinasi tersebut menghasilkan piezoelektrik yang kuat dan sifat pieromagnetik. Selain hal itu ZnO juga memiliki bdan gap yang lebar yaitu sebesar 3.37eV. Karena itu ZnO merupakan senyawa semikonduktor yang cocok sebagai aplikasi optoelektronik dengan panjang gelombang pendek. ZnO sangat transparan terhadap cahaya tampak dan dibuat sangat konduktif dengan doping (Wang, 2004).

Berdasarkan jari-jari ion dari Zn²⁺ adalah 0,074 nm mirip dengan jari-jari Mg²⁺ 0,072 nm. Zn²⁺ dapat menggantikan posisi dari ion Mg2+ karena kemiripan besar jari-jari atomnya. Pada penelitian Huang, ion Zn²⁺ digunakan sebagai pendoping dari MgTiO₃. Pada penelitian Huang ion Zn²⁺ membentuk komposisi Penambahan Zn²⁺ mereduksi $Mg_{1-x}Zn_xTiO_3$. dapat fasa intermediate (Huang et al., 2008) Pada penelitian Zhang dihasilkan atom Zn^{2+} pada MgTiO₃ tidak pensubtitusian bahwa mengakibatkan adanya penyimpangan posisi puncak ketika dilakukan karakterisasi (Zhang et al., 2012) dan pembentukan MgTiO₃ lebih cepat hingga dibawah suhu 550°C (Chairatul Umamah dan Suminar Pratapa, 2012).

2.2 Vanadium Pentaoksida (V₂O₅)

Vanadium pentoksida (V_2O_5), salah satu bahan semikonduktor dengan struktur berlapis yang mendapatkan perhatian besar karena dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti katalisis, electrochromism, serta elektrokimia. Vanadium oksida, seperti VO_2 , V_2O_3 , dan V_2O_5 , telah banyak dipelajari karena memiliki potensi sifat listrik yang baik. Selain itu, bahan ini memiliki sifat listrik dan magnetik yang memiliki kemampuan transisi dari konduktor menjadi isolator (MIT). Vanadium pentoksida (V_2O_5) merupakan fasa yang paling stabil dari vanadium oksida. V_2O_5 memiliki struktur orthorombik sehingga bahan ini bersifat anisotropic. Diketahui bahwa vanadium oksida (V_2O_5) memiliki titik leleh sebesar 690°C sehingga titik leleh yang rendah dari *vanadium oxide* inilah yang diharapkan dapat dijadikan material *co-sintering agent* serta berfungsi sebagai *liquid phase* pada material dielektrik MgZnTiO₃. (Manil Kang, 2011).



Gambar 2.3 Pola XRD V₂O₅ dengan struktur nano (Min Zeng, 2012)

Pola XRD V₂O₅ memiliki struktur nanokristal yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Dari gambar tersebut menunjukkan pola XRD dengan puncak yang tajam yang dapat diindikasikan sebagai sistem kristal orthorombik. Vanadium pentaokside memiliki konstanta kisi a = $11.516A^\circ$, b = $3.566A^\circ$, c = $4,373A^\circ$ (JCPDS card 41-1426). Gambar 2.3 menunjukkan tingkat kemurnian tinggi dari bahan V₂O₅ karena tidak terdapat banyak pengotor. (Min Zeng, 2012)

2.3 Bismuth Oksida (Bi₂O₃)

 ${\rm Bi_2O_3}$ merupakan bahan yang memiliki konduktivitas ion oksigen yang tinggi. Bahan tersebut dapat digunakan dalam sensor pada gas, sebagai elektrolit padat dalam sel bahan bakar, dan sebagai lapisan yang memisahkan gas. Bismuth oksida memiliki sifat polimorf dan bersifat konduktif. Konduktivitas yang tinggi pada ${\rm Bi_2O_3}$ pertama kali disebutkan oleh Takahashi et al.

Bi₂O₃ memiliki titik leleh yang rendah, yakni kurang dari 825°C. Dengan demikian Bi₂O₃ merupakan kandidat yang baik untuk digunakan untuk menurunkan temperatur sintering dari suatu bahan (De Marco V, 2015). Liquid phase pada Bi₂O₃ muncul saat suhu proses melebihi 825°C. Bismuth oksida digunakan sebagai aditif untuk Gadolinia-doped Ceria (GDC), yang dapat menurunkan suhu sintering normal lebih dari 400°C [22]. Selain itu, juga ditemukan bahwa 3 mol% aditif Bi2O3 memperbaiki penyusutan barium zirkonat dari 10,4% menjadi 19,0% pada 1480°C, dan mengurangi porositas saat campuran disinter pada suhu 1400°C selama 24 jam (J Zhang, 2013).



Gambar 2.4. Stuktur kristal Bi₂O₃ monoklinik (E.I. Orlova, 2016)

Pada temperatur kamar, Bismuth Oksida memiliki struktur monoklinik (α). Ketika dilakukan pemanasan, struktur kristalnya berubah menjadi kubik (δ) pada kisaran suhu antara 730-825°C. Struktur Kristal kubik memiliki space group yakni Fm-3m [6,7]. Dalam struktur fluorit, seperempat situs anion kosong, sehingga menyebabkan konduktivitasnya menjadi tinggi. Ketika dilakukan pendinginan, ia berubah menjadi fase α , melewati fase metastasis: tetragonal (β) dan kubik (γ). Menurut Watanabe [9] ketika dipanaskan pada suhu 600°C menyebabkan terurainya fase stabil. Material Bi₂O₃ dapat berubah struktur kristalnya seperti kubik, tetragonal, orthorhombic, atau monoklinik tergantung pada kondisi sintesisnya. (E.I. Orlova, 2016)

2.4 Sintering

Proses sintering adalah proses pemadatan serbuk kompak dengan cara menirukan serbuk untuk menghasilkan keramik dengan struktur terkontrol, porositas rendah dan sifat yang disempurnakan, seperti kekuatan, aktivitas listrik dan termal. Densifikasi merupakan proses yang terjadi selama sintering yang menyebabkan terjadinya penyusutan dan menghilangnya pori-pori. Proses densifikasi diawali dengan adanya dua butir yang mendekat secara bersama-sama dan menyebabkan bagian leher (*necking area*) bergabung. Proses ini menyebabkan terjadinya difusi volume dari batas butir ke leher.

Proses pemanasan digunakan untuk menghasilkan material dengan mikrostruktur yang diinginkan. Perubahan yang terjadi selama tahap ini cukup kompleks, tergantung pada kompleksitas raw material. Terdapat dua tahap pemanasan, yakni kalsinasi dan sintering. Kalsinasi bertujuan untuk mendapatkan struktur yang homogen melalui reaksi interdifusi antar ion dalam struktur Kristal tersebut. Proses kalsinasi biasanya merupakan rangkaian dari proses mixing. Proses ini sangat penting untuk mendapatkan fasa yang diinginkan sebelum melakukan proses selanjutnya yaitu sintering. Temperature yang digunakan saat proses kalsinasi adalah dibawah temperatur sintering. Sintering merupakan proses pemanasan yang digunakan untuk memperoleh material dengan densitas tertentu yang terdiri dari komponen serbuk metal atau keramik setelah proses kompaksi dengan perlakuan termal (Suk-Joong, 2005). Proses sinter dilakukan pada suhu dibawah titik leleh, yakni berada pada suhu di kisaran 0,5-0,75 dari titik leleh. Proses yang terjadi selama sintering yaitu terjadi penggabungan partikel dan pengurangan porositas. Selain itu terjadi difusi atom dalam keadaan padat. Jenis sinter ini biasanya disebut sebagai solid state sintering.

Proses sintering dibagi menjadi dua, yakni sintering fasa padat (solid phase sintering) dan sintering fasa cair (liquid phase sintering). Ketika proses sinter berlangsung, kehadiran fase cair menyebabkan peningkatan densifikasi melalui penataan partikelpartikel padat dan transportasi materi melalui cairan. Gambar 2.5 menunjukkan sketsa dari model dua bola ideal di mana aspek mikrostruktur sinter fasa cair dibandingkan dengan sinter fasa padat. Dalam sinter fasa cair, fasa cair membasahi dan menyebar untuk menutupi permukaan padat, partikel akan dipisahkan oleh sebuah liquid bridge. Gesekan antara partikel berkurang secara signifikan karena adanya tekanan kapilaritas yang diberikan oleh cairan. Sedangkan sinter fasa padat merupakan sinter yang diberikan kepada material tanpa kehadiran fasa cair. Proses ini membutuhkan ukuran partikel yang halus (orde micrometer), dan umumnya setelah proses sintering terjadi butir polikristal lebih besar dari bubuk awal.



Gambar 2.5 Sketsa model dua bola ideal perbandingan struktur mikro dari (a) Sintering fasa padat (b) Sintering fasa cair (Rahaman, 2003)

Solid state sintering adalah proses sintering yang paling sederhana namun interaksinya bisa sangat kompleks. Proses ini dibagi menjadi 3 tahap :

1. Initial stage. Proses ini ditandai dengan adanya neck pada dua partikel yang menyatu dan memberikan dampak pengurangan penyusutan sebesar 2-3%. Energi yang dibutuhkan selama proses sinter disebut gaya pendorong (*driving force*) yang terdiri dari energi permukaan, energi cacat kristal (*defect*) dan energi tekanan uap. Adanya gaya pendorong menyebabkan perpindahan materi (difusi), dengan adanya difusi tersebut maka akan terjadi kontak antara partikel dan membentuk kaitan antar butir (*neck*). Disamping itu terjadi rekontruksi susunan partikel yang dapat menghilangkan atau mengurangi pori–pori yang berada diantara partikel. Hal ini dapat diliht pada gambar 2.5 untuk situasi dari dua partikel yang bersentuhan





Pada partikel yang tidak mengalami penyusutan, jarak diantara dua partikel tidak berubah, namun ukuran neck akan bertambah seiring dengan bertambahnya waktu sintering. Sedangkan pada partikel yang mengalami penyusutan, ukuran neck akan bertambah seiring dengan bertambahnya waktu sintering, namun disertai dengan semakin dekatnya jarak antara partikel.

- 2. Intermediate stage. Proses ini mengakibatkan naiknya densitas relative hingga ~93% sebelum celah antar partikel tertutup.
- 3. Final stage. Merupakan bentuk akhir dari densifikasi yakni kelanjutan dari intermediate stage (Rahaman, 2003)

2.5 Karakteristik dielektrik

Dielektrik merupakan bahan dengan resistivitas listrik yang tinggi. Didalam bahan dielektrik terdapat elemen penting seperti permitivitas ε_r , factor disipasi, serta tan δ . Bahan dielektrik

digunakan untuk menahan elemen konduktif agar tidak terjadi kontak antara satu dengan yang lain. Elektron-elektron dalam material yang tergolong dalam bahan dielektrik cenderung terikat sangat kuat sehingga meskipun diberikan medan listrik, elektron bebas tidak akan terbentuk hingga pada batas tertentu, kemampuan inilah yang disebut sebagai permitivitas bahan dielektrik (Barsoum, 2002).

Permitivitas bahan dielektrik mengandung distribusi butir yang berasal dari fasa utama, fasa sekunder, dan juga fraksi porositas. Kontribusi tersebut dapat didekati dengan menggunakan pemodelan seperti *dielectric mixing rules*, yaitu : *Maxwell model* (Pers 2.1), *the Paralel mixing model* (2.2), *Lichtener model* (Pers 2.3), dan *the serial mixing model* (2.4) (Moulson 2003) sebagai berikut :

$$\varepsilon_{r}' = \varepsilon_{r}' \left(1 + \frac{3 \nu_{2} (\varepsilon_{r2}' - \varepsilon_{r1}')}{\varepsilon_{r2}' + 2\varepsilon_{r1}' - \nu_{2} (\varepsilon_{r2}' - \varepsilon_{r1}')} \right) + \frac{3 \nu_{3} (\varepsilon_{r3}' - \varepsilon_{r2}')}{\varepsilon_{r3}' + 2\varepsilon_{r1}' - \nu_{3} (\varepsilon_{r3}' - \varepsilon_{r1}')} 2.1$$

$$\varepsilon'_{r} = \nu_{1} \, \varepsilon'_{r1} + \nu_{2} \, \varepsilon'_{r2} + \nu_{3} \, \varepsilon'_{r3}$$
 2.2

$$\ln \varepsilon_r' = \nu_1 \ln \varepsilon_{r1}' + \nu_2 \ln \varepsilon_{r2}' + \nu_3 \ln \varepsilon_{r3}'$$
 2.3

$$(\varepsilon_r')^{-1} = \nu_1 (\varepsilon_{r1}')^{-1} + \nu_2 (\varepsilon_{r2}')^{-1} + (\varepsilon_{r3}')^{-1}$$
 2.4

dengan v adalah fraksi volume, ε'_r menyatakan suku riil dari permitivitas relatif dan subscripts 1,2, dan 3 masing-masing dengan fasa utama, fasa sekunder, dan porositas.

Loss factor merupakan faktor yang mempengaruhi besarnya energi yang dapat diserap dari material pada frekuensi gelomabang mikro. Apabila material dengan nilai factor disipasi yang tinggi maka sifat material itu semakin konduktif. Material dengan nilai faktor disipasi rendah, maka material itu sifatnya lebih resistif. Penyebab utama hilangnya energi gelombang ketika merambat dalam suatu medium ialah peristiwa pelemahan (attenuation). Pelemahan ini merupakan fungsi kompleks dari parameter dielektrik (ϵ), listrik (σ) dan magnetik (μ) dari media yang dilalui gelombang tersebut, serta frekuensi gelombang itu sendiri. Umumnya material dengan faktor disipasi rendah ini termasuk jenis material keramik dan polimer. Loss factor pada material dielektrik ditunjukan dari persamaan berikut:

Tan $\delta = \epsilon$ "/ ϵ '

2.5

Dimana ε ' merupakan permitivitas riil yang disebut juga konstanta dielektrik. Sedangkan ε '' merupakan permitivitas imaginir ε '' yang menunjukkan tingkat disipasi terhadap medan listrik eksternal.

Energy yang hilang (energy loss) pada material keramik merupakan hasil perkalian antara konstanta dielektrik dan tangen dari δ . Bersifat *loss* berarti medium tersebut merupakan medium konduktif, akibatnya gelombang elektromagnetik yang merambat akan mengalami pelemahan (*attenuation*). Material dielektrik yang baik memiliki nilai konduktivitas yang rendah untuk memaksimalkan kemampuan penyimpanan energi listrik (dalam bentuk muatan). Nilai konduktivitas material dielektrik dapat diketahui melalui persamaan :

 $\sigma_{ac} = tan \delta. \omega. \epsilon$ 2.6

Quality of factor (Q) merupakan ukuran kualitas material dielektrik yang mengindikasikan besaran losses. Jika material dielektrik memiliki nilai Quality of factor yang tinggi maka material tersebut memiliki kualitas yang baik. Sehingga Q merupakan invers dari tan δ , Q = 1/tan δ . (Kingery, 1976).

 $Q = 1/\tan \delta \qquad 2.7$

Jika medan listrik luar yang diberikan pada material ini maka terjadi pergeseran muatan negative melawan arah medan listrik yang diberikan dan sebaliknya untuk muatan positif sehingga membentuk dipol yang dikenal sebagai peristiwa polarisasi. Peristiwa polarisasi pada bahan dielektrik tergantung dengan besarnya frekuensi yang diterapkan kepadanya. Beberapa kemungkinan polarisasi yang terjadi adalah polarisasi atomik, polarisasi ionik, polarisasi dipolar, dan polarisasi muatan ruang (gambar 2.6 a). Pada gambar 2.6 (a) menunjukkan suatu respon polarisasi yang terjadi pada bahan dielektrik yang bergantung dengan perubahan frekuensi. Gambar 2.6 (b) menunjukkan puncak-puncak debye dengan berbagai frekuensi relaksasi untuk masing-masing polarisasi.



Gambar 2.7 Variasi (a) konstanta dielektrik (ε) dan (b) dielektrik loss (ε') terhadap frekuensi (J Moulson, 2003)

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan 3.1.1 Alat

Alat yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah spatula, neraca O'haus, mortar, saringan, gelas beaker, saringan, jar, labu, *crucible*, *micrometer*, *furnace Thermolyne*, *Difractometer* Sinar X Philips, *impedance analyzer*, *vector network analyzer*, *rotary evapor*, *attritor mill*, oven, dan bola *zircone* dengan diameter 0,2 mm.

3.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi serbuk sintetik MgO, ZnO, dan TiO₂ untuk sintesis bahan $Mg_{0,8}Zn_{0,2}TiO_3$. Sedangkan untuk sintesis bahan $Mg_{0,8}Zn_{0,2}TiO_3$. V₂O₅-Bi₂O₃ dibutuhkan serbuk sintetik MZT, V₂O₅, dan Bi₃(NO)₂. Bahan lainnya adalah *aquades* dan alkohol 96%.

3.2 Prosedur Kerja

3.2.1 Sintesis MgZnTiO₃

Sintesis material Mg_{0,8}Zn_{0,2}TiO₃ dengan metode reaksi padat. Serbuk MgO dipanaskan terlebih dahulu pada suhu 600°C selama 1 jam, sedangkan ZnO dan TiO₂ dipanaskan pada suhu 150°C selama 1 jam. Masing-masih serbuk yang telah dipanaskan selanjutnya ditimbang sesuai dengan perbandingan stoikiometri yang telah dihitung. Kemudian semua serbuk dicampurkan dan dimasukkan ke dalam jar serta ditambah dengan alkohol sebagai medium milling. Campuran serbuk ini dimilling dengan rotary attritor dengan kecepatan 600 rpm selama 6 jam. Selanjutnya kandungan alkohol dihilangkan dengan alat rotary evaporator. Material (Mg,Zn)TiO₃ yang telah kering selanjutnya dihaluskan dengan mortar hingga berbentuk serbuk. Serbuk (Mg,Zn)TiO₃ dikalsinasi pada suhu 850°C selama 4 jam.

3.2.2 Sintesis 0,9MZT-xV2O5-yBi2O3

Material 0,9MZT- $xV_2O_5-yBi_2O_3$ disintesis dengan metode reaksi padat. Untuk mendapatkan serbuk Bi_2O_3 yaitu dengan cara memanaskan $Bi_3(NO)_2$ pada suhu 730°C selama 6 jam. Selanjutnya serbuk $Mg_{0,8}Zn_{0,2}TiO_3$, V_2O_5 , dan Bi_2O_3 ditimbang sesuai dengan perbandingan stoikiometri yang telah dihitung. Kemudian semua serbuk dicampurkan dan dimasukkan ke dalam jar serta ditambah dengan alkohol sebagai medium *milling*. Campuran serbuk ini di*milling* dengan *rotary attritor* dengan kecepatan 600 rpm selama 6 jam. Selanjutnya kandungan alkohol dihilangkan dengan alat *rotary evaporator*. Material 0,9MZT $xV_2O_5-yBi_2O_3$ dengan x = 0,03; 0,05; 0,07 yang telah kering selanjutnya dihaluskan dengan mortar hingga berbentuk serbuk. Serbuk 0,9MZT- $xV_2O_5-yBi_2O_3$ di bentuk pellet dan disinter.

3.2.3 Karakterisasi XRD

Pengujian dengan menggunakan *X Ray Diffraction* (XRD) dilakukan untuk mengidentifikasi fasa kristalin pada material. Pengujian ini dilakukan dalam bentuk sampel serbuk pada material MZT setelah dikalsinasi. Sedangkan pada material hasil sintesis 0,9MZT-xV₂O₅-yBi₂O₃ dilakukan pengujian dalam bentuk disk setelah sintering.

Hasil dari pengujian XRD berupa grafik antara intensitas dan sudut difraksi. Untuk dapat mengetahui fasa material, dilakukan analisa hasil XRD dengan menggunakan software Match!. Dari data XRD juga dapat diperoleh parameter kisi bahan yang dianalisa melalui penghalusan pola terhitung dan terukur menggunakan program *Rietica* yang berbasis metode Rietveld.

3.2.4 Pengujian Densitas

Pengujian densitas dilakukan dengan dua metode yakni metode geometri dan metode archimedes. Untuk metode geometri, langkah yang harus dilakukan adalah diukur terlebih dahulu dimensi sampel untuk mendapatkan diameter dan tinggi sampel. Selain itu ditimbang massa sampel. Setelah semua data diperoleh, dimasukkan dalam persamaan dibawah ini

$$\rho = \frac{m}{v} \tag{3.1}$$

$$\rho = \frac{m}{\pi r^2 t} \tag{3.2}$$

Selanjutnya untuk pengujian archimedes langkah yang dilakukan yaitu massa sampel ditimbang untuk mendapatkan massa kering (m_{kering}). Pada tahap berikutnya sampel yang sudah diketahui massa keringnya kemudian dibasahi dengan menggunakan tissue basah pada kedua permukaannya. Sampel yang telah dibasahi kemudian ditimbang untuk mengetahui massa basah sampel (m_{basah}). Selanjutnya sampel dimasukkan kedalam air sebagai massa dalam air ($m_{archimedes}$). Besarnya densitas dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$\rho = \frac{m_k}{m_b - m_a} x \,\rho_a \tag{3.3}$$

3.2.5 Karakterisasi Sifat Dielektrik 3.2.5.1 Uji dielektrik pada frekuensi 0,1 Hz – 32 MHz

Seluruh sampel berbentuk pellet yang telah disinter diolesi dengan pasta perak yang dicampur dengan toluena secara merata pada permukaan sampel, kemudian dikeringkan pada suhu 75°C dan selanjutnya ditempelkan elektroda dengan penempel pasta perak. Setelah elektroda menempel, sampel kemudian pada suhu 450°C selama 20 dipanaskan menit untuk menghilangkan sisa toluena. Pengukuran ini menggunakan Impedance Analyzer Solatron SI 1260 dengan tegangan listrik bolak-balik sebesar 0,5 V pada range frekuensi 0,1 Hz hingga 32 MHz. Data yang didapatkan dari uji listrik menggunakan solartron adalah frekuensi, permitivitas relative (ε_r), dan tan δ . Data tersebut selanjutnya diolah untuk mendapatkan nilai log (Qxf), dan log σ_{AC} . Untuk perhitungan lengkapnya terlampir pada lampiran E.

3.2.5.2 Uji dielektrik pada frekuensi 8 GHz – 12 GHz

Pengukuran listrik menggunakan Vector Network Analyzer (VNA) dilakukan pada sampel berbentuk serbuk. Sampel berbentuk pellet yang telah disinter pada suhu 950°C selama 4 jam kemudian ditumbuk sampai halus hingga berbentuk serbuk. Perhitungan permitivitas relative (ε_r) dan tan δ diperoleh dengan mengukur koefisien refleksi kompleks S₁₁, dan koefisien transmisi kompleks S₂₁, dengan menggunakan metode Nicholson Ross Weir (NRW). Berikut adalah contoh perhitungan untuk mendapatkan permitivitas relative (ε_r), tan δ , log (Qxf), dan log σ_{AC} .

Dimana hasil pengukuran dielektrik menggunakan VNA menghasilkan data

Frekuensi β S_{11} sampel S_{21} sampel S_{11} udara a β udara ϕ sampel ds

Data yang didapatkan tersebut selanjutnya diolah dan didapatkan hasil sebagai berikut :

$$\varepsilon_{\rm r}' = \frac{A}{K_0^2} \left\{ \left[\sqrt{K_0^2 - \left(\frac{\pi}{a}\right)^2} + \left| \frac{\Phi \text{sampel} - \Phi \text{udara}}{ds} \right| \right]^2 + \left(\frac{\pi}{a}\right)^2 - \alpha_s \right\}$$

$$\varepsilon_{\rm r}'' = \frac{2.A.\alpha s}{K_0^2} \left\{ \sqrt{K_0^2 - \left(\frac{\pi}{a}\right)^2} + \left| \frac{\Phi \text{sampel} - \Phi \text{udara}}{ds} \right| \right\}$$

$$\varepsilon_{\rm r} = \sqrt{(\varepsilon_r')^2 + (\varepsilon_r'')^2}$$

Tan $\delta = \frac{\varepsilon r''}{\varepsilon r'}$
Log (Qxf) = log ($\frac{1}{\tan \delta} x f$)

 $\text{Log } \sigma_{\text{AC}} = \text{Log } (\varepsilon_{\text{r}}. \tan \delta. \varepsilon_{0.} \omega)$

3.2.6 Diagram Alir Penelitian

Alur dari penelitian dapat digambarkan secara singkat pada diagram alir dibawah ini,





Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian 0,9MZT-xV2O5-yBi2O3
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sintesis Material dasar Mg_{0,8}Zn_{0,2}TiO₃ (MZT)

Mg_{0.8}Zn_{0.2}TiO₃ (MZT) terdiri dari serbuk MgO, serbuk ZnO, serbuk TiO₂. Material Mg_{0.8}Zn_{0.2}TiO₃ (MZT) disintesis dengan menggunakan metode solid state reaction. Metode solid state reaction dilakukan dengan cara mencampurkan semua bahan dalam bentuk serbuk. MgTiO₃ memiliki titik leleh sebesar 1350°C, sedangkan ketika didoping dengan ZnO maka material MZT memiliki titik leleh sebesar 1100 °C (Rani and Suasmoro, 2016). Metode reaksi padat atau solid state reaction dipilih karena metode tersebut paling mudah untuk diaplikasikan. Metode ini dilakukan dengan cara mencampur serbuk MgO, serbuk ZnO, serbuk TiO₂, bola penumbuk, dan alkohol dalam sebuah jar dan dilakukan proses *milling*. Untuk komposisi bahan dasar yang digunakan dapat dihitung dengan perhitungan stokiometri. Untuk perhitungan stokiometri-nya, secara ditunjukkan pada lampiran Β. Perbandingan yang digunakan adalah perbandingan persen molar dengan perbandingan sebagai berikut:

0,8 mol MgO+0,2 mol ZnO+1 mol TiO₂ \rightarrow Mg_{0,8}Zn_{0,2}TiO₃

Pada penelitian sebelumnya (Rani and Suasmoro, 2016) MZT dikalsinasi pada temperatur 850°C dengan *holding time* 4 jam sudah terbentuk fasa tunggal yakni fasa (Mg/Zn)TiO₃. Sehingga pada penelitian kali ini juga menggunakan temperature 850°C dengan *holding time* 4 jam. Hasil dari kalsinasi kemudian diuji dengan pengujian *x-ray diffraction* (XRD) untuk mengetahui fasa yang terbetuk. Dari hasil uji XRD menunjukkan fasa MZT sudah terbentuk pada temperatur 850°C dengan *holding time* 4 jam.

Hasil XRD dianalisa dengan *software Match!*. *Software* ini menghasilkan analisa secara semikuantitatif. Cara kerja *software Match!* adalah dengan mencocokkan *data base* dengan data peneliti/eksperimen. *Data base* ini berasal dari penelitianpenelitian yang sudah pernah dilakukan dan dibuat model. Gambar hasil analisis *Match!* ada pada lampiran C. Untuk grafik dengan warna biru merupakan *experiment pattern* yang artinya hasil dari sampel peneliti/eksperimen . Sedangkan grafik yang berwarna merah merupakan *data base* yang berasal dari penelitian sebelumnya. Kedua data tersebut harus dicocokkan dan apabila cocok, maka fasa yang diinginkan sudah berhasil terbentuk. Puncak-puncak yang ditunjukkan dari hasil analisa *Match!* menunjukkan fasa (Mg/Zn)TiO₃ sudah terbentuk dengan entry #000790831. Puncak tertinggi terdapat pada 2θ = 32,87° dengan tinggi intensitas sebesar 943. Data ini dapat dilihat pada *tool peak list* pada *software Match!*. Untuk mengetahui data kuantitatif, digunakan analisa dengan menggunakan software *Rietica* yang berpacu pada metode *Rietveld*. Hasil yang diperoleh ditunjukkan dibawah ini:



Gambar 4.1 Hasil analisa Rietveld pada Mg_{0,8}Zn_{0,2}TiO₃ kalsinasi 850°C dengan waktu tahan 4 jam

Hasil analisa *Rietveld* ditunjukkan pada gambar 4.1. Pada gambar 4.1, terdapat grafik dengan 3 warna yang berbeda. Warna hitam adalah data eksperimen, sedangkan untuk warna merah adalah model yang diinput data dari COD ataupun ICSD, dan warna hijau merupakan selisih kecocokan antara eksperimen dengan model yang biasa disebut dengan error. Semakin halus garis hijau tersebut, berarti antara eksperimen dengan model semakin cocok. Untuk garis-garis biru merupakan kandidat puncak yang menginterpretasikan model yang telah dibuat. Pada analisa ini, digunakan model ICSD Collection Code 65794. Data eksperimen dengan model memiliki kecocokan yang tinggi dengan nilai Good of factor (GOF) sebesar 1.119. GOF merupakan parameter kecocokan antara data terukur dengan data terhitung. Nilai GOF yang memenuhi yakni dibawah 4 atau mendekati angka 1. Selain itu parameter yang harus diperhatikan yaitu R-Bragg factor, R_P, dan R_{WP}. Nilai *R*-Bragg factor yang memenuhi yakni dibawah 10, sedangkan nilai R_P dan R_{WP} dibawah 20. Parameterparameter tersebut harus terpenuhi agar data kuantitatif hasil analisa Rietveld memiliki keakuratan yang tinggi.

4.2 Sintesis Material 0,9MZT-xV2O5-yBi2O3

Setelah didapatkan *raw material* yang terdiri dari MZT, V₂O₅, dan Bi₂O₃, maka langkah selanjutnya yakni menghasilkan material baru yaitu 0,9MZT-xV₂O₅-yBi₂O₃. Material baru ini diharapkan mampu bekerja pada temperatur sintering 950°C. Dari ketiga *raw material* tersebut, material utama yakni MZT, sedangkan material yang berperan dalam penurunan temperatur adalah material V₂O₅ dan Bi₂O₃. Telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya bahwa V₂O₅ dan Bi₂O₃ merupakan kandidat yang baik untuk menurunkan temperatur sintering karena memiliki titik leleh yang rendah V₂O₅ dan Bi₂O₃ berperan sebagai *co-sintering agent* untuk material MZT. Selain itu penambahan V₂O₅ dan Bi₂O₃ digunakan untuk memperbaiki densifikasi dari material MZT

Variasi Komposisi
MZT 02
0,9MZT-0,03V2O5-0,07Bi2O3
0,9MZT-0,05V2O5-0,05Bi2O3
 0,9MZT-0,07V2O5-0,03Bi2O3

Tabel 4.1 Variabel yang digunakan dalam penelitian 0,9MZT-xV_2O_5-yBi_2O_3

Dalam penelitian ini digunakan 3 variasi komposisi 0,9MZTxV₂O₅-yBi₂O₃. Tujuan dilakukan variasi adalah untuk mengetahui pada komposisi berapakah suatu material memiiliki sifat yang paling diinginkan. Perbandingan variasi komposisi tabel 4.1. Setiap variasi komposisi diberi perlakuan yang sama satu sama lainnya.

XRD merupakan metode karakterisasi guna mengetahui struktur kristal, ukuran kristal, serta informasi lainnya baik dari segi kualitatif maupun kuantitatif. Pengujian XRD dilakukan dengan penembakan radiasi Cu-K α pada material uji dengan $\lambda_1 =$ 1,540598 dan $\lambda_2 = 1,544426$. Untuk mengetahui hasil dari XRD secara semikuantitatif dapat digunakan software Match!. Pada penelitian kali ini, hasil sintesis dari masing-masing komposisi molar menghasilkan fasa yang berbeda. Untuk sintesis material 0,9MZT-0,03V₂O₅-0,07Bi₂O₃ menghasilkan fasa utama MgTiO₃ dengan nomor entry #000790831, fasa Bi2Ti2O7 dengan nomor entry #000320118, fasa $Bi_4V_{1,5}Ti_{0,5}O_{10,85}$ dengan nomor entry #000470481, dan fasa MgTi₂O₅ dengan nomor *entry* #000762373. sintesis 0,9MZT-0,05V₂O₅-0,05Bi₂O₃ Sedangkan material menghasilkan fasa utama MgTiO₃ dengan nomor entry #000790831, fasa BiVO₄ dengan nomor *entry* #000751866, dan fasa MgTi₂O₅ dengan nomor *entry* #000762373. Dan untuk sintesis material $0.9MZT-0.07V_2O_5-0.03Bi_2O_3$ menghasilkan fasa utama MgTiO₃ dengan nomor *entry* #000790831, fasa BiVO₄ dengan nomor *entry* #000751866, dan fasa MgTi₂O₅ dengan nomor *entry* #000762373.



$$5 = 0.9MZT - 0.05V_2O_5 - 0.05Bi_2O_3$$

 $6 = 0.9MZT-0.07V_2O_5-0.03Bi_2O_3$

Gambar 4.2 merupakan hasil XRD yang telah diolah menggunakan software Match! dengan sampel MZT non aditif dan sampel MZT dengan aditif V₂O₅ dan Bi₂O₃ yang divariasikan komposisi molarnya. Grafik tersebut menyajikan data posisi puncak 20 terhadap intensitas. Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa raw material seperti V₂O₅ dan Bi₂O₃ tidak dijumpai pada hasil identifikasi fasa. Raw material tersebut bereaksi dan membentuk komposisi kimia baru seperti BiVO₄, Bi₂Ti₂O₇, Bi₄V₁₅Ti₀₅O₁₀₈₅. Ketinggian puncak atau intensitas masingmasing bidang kristal berhubungan dengan FWHM (Full Width Half Maximum). FWHM merupakan lebar puncak difraksi pada setengah maksimum dari samapel benda uji. Semakin tinggi intensitas maka nilai FWHM semakin kecil. FWHM sendiri berhubungan dengan ukuran kristal. Hubungan keduanya adalah berbanding terbalik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ketika intensitasnya semakin rendah maka ukuran kristalnya semakin besar. Perbedaan jumlah puncak, tinggi puncak, serta posisi diakibatkan oleh perbedaan fasa yang dihasilkan ketika viariasi komposisi molar dari zat aditif berbeda. Gambar 4.2 menunjukkan bahwa tidak ada puncak yang mengalami pergeseran yang berarti antara MZT dengan aditif dan MZT non aditif. Hal tersebut menunjukkan data kuantitatif untuk parameter kisi fasa MZT tidak mengalami banyak perubahan sehingga sedikit kemungkinan untuk aditif masuk kedalam strukur MZT.

Setelah melalui proses identifikasi fasa menggunakan *software Match!*, selanjutnya yakni melakukan *refinement Rietveld* dengan menggunakan menggunakan *software Rietica* guna mengetahui data kuanitatif. Data kuantitatif yang didapatkan meliputi parameter kisi, densitas, berat molekul, volume sel, prosentase kemolaran, dsb. Proses *refinement* merupakan pencocokan antara model (data terhitung) dengan hasil eksperimen (data terukur). Data terukur didapatkan dari ICSD dan COD. *Output information* berisi antara lain indeks kecocokan (*Figure of Merit*) dari pola difraksi terhitung dan pola difraksi terukur yang ditunjukkan dengan GOF, R_p, R_{wp}, R_{exp}, dan R-*Bragg Factor*. Data

kuantitatif dari hasil refinement yang dapat dipercayai yakni ketika indeks kecocokan sudah memenuhi persyaratan. Berikut adalah hasil refinement menggunakan *software Rietica* pada variasi komposisi 0,9MZT-0,03V₂O₅-0,07Bi₂O₃.



Bi₂O₃

Dari hasil refinement pada gambar 4.3 tersebut dapat diketahui bahwa warna hitam merupakan pola difraksi terukur, warna merah merupakan pola difraksi terhitung, garis warna hijau merupakan tingkat ketidak cocokan antara data terukur dan terhitung, sedangkan warna biru merupakan garis vang diidentifikasi sebagai puncak menurut pola difraksi terhitung. Semakin *fit* antara pola difraksi terukur dengan terhitung maka garis warna hijau yang dihasilkan juga semakin datar. Data dari eksperimen ini dicocokkan dengan model yang dibuat. Sebelum pembuatan model, dicari terlebih dahulu data COD atau ICSD yang cocok dengan fasa yang diidentifikasi dengan software Match!. Variabel yang perlu dicocokkan adalah sistem kristal dan space group. Hasil refinement dapat diterima ketika indeks kecocokan sudah memenuhi persyaratan. Untuk GOF nilai yang harus dipenuhi yakni <4; R_p, R_{wp}, dan R_{exp} adalah <20, dan R-bragg *factor* <10. Informasi keluaran berupa indeks kecocokan hasil refinement pada variasi 0,9MZT-0,03V₂O₅-0,07Bi₂O₃ adalah untuk GOF sebesar 3,124; $R_p = 9,72$; $R_{wp} = 12,67$; $R_{exp} = 7,48$; R*bragg factor* 1 = 4,19; R-*bragg factor* 2 = 7,45; R-*bragg factor* 3 = 7,10; R-*bragg factor* 4 = 6,25. Sehingga dapat disimpulkan hasil refinement tersebut memiliki keakuratan yang baik. Untuk memudahkan analisa hasil *refinement* maka dibuat tabel yang berisikan data kuantitatif untuk semua variasi.

Sampel	Fasa	Parameter Kisi (Å)			Molar
		a	b	с	(%)
0,9 MZT –	MZT	5,058894	5.058894	13.910979	88,48
0,03 V2O5 -		±0,000278	± 0.000278	± 0.001087	±1,82
0,07 Bi ₂ O ₃	Bi ₂ Ti ₂ O ₇	10,339235	10,339235	10,339235	0,09
		± 0,003621	± 0,003621	±0,003621	±0,01
-	Bi4V1,5Ti0,	3,918842	3,918842	15,554217	2,12
_	5O10,85	±0,000476	± 0,000476	± 0,002291	±0,02
	MgTi ₂ O ₅	9,76400	10,07091	3,719800	9,31
		±0,000336	± 0,000316	± 0,001191	±0,02
0,9 MZT –	MZT	5,057561	5,057561	13,905468	85,11
0,05 V ₂ O ₅ -		±0,000367	±0,000367	±0,001092	± 2,17
0,05 Bi2O3	BiVO ₄	5,180111	5,108772	11,71098	3,65
		±0,001180	±0,001239	±0,002010	±0,14
	MgTi ₂ O ₅	9,757467	10,06551	3,719458	11,24
		± 0.012433	± 0.002381	±0.003122	± 1,40
0,9 MZT –	MZT	5,05840	5,05840	13,90790	76,33
0,07 V ₂ O ₅ -		±0,000234	±0,000234	±0,000704	±0,98
0,03 Bi ₂ O ₃	BiVO ₄	5,160511	5,100910	11,702155	0,84
		±0,001544	±0,002871	±0,004831	±0,05
-	MgTi ₂ O ₅	9,754000	10,026200	3,738900	22,83
	-	±0,003169	±0,002367	±0,001377	±0,18
(Mg/Zn)TiO ₃		5,058949	5,058949	13,909819	-
		±0,000282	±0,000282	±0.000993	

Tabel 4.2 Hasil analisis Rietveld

Dari tabel 4.2 dapat diketahui bahwa parameter kisi untuk fasa yang terbentuk pada masing-masing variasi komposisi memiliki perbedaan. Analisis refinement menghasilkan parameter kisi untuk

MZT non aditif adalah a = b = 5,058949 A dan c = 13,909819. Parameter kisi untuk variasi komposisi 3% mol V₂O₅ untuk fasa MZT adalah a = b = 5,058894 dan c = 13.910979. Parameter kisi untuk 5% mol V₂O₅ adalah a = b = 5,057561 dan c = 13,905468. Parameter kisi untuk 7% mol V₂O₅ adalah a = b = 5,05840 dan c =13,90790. Nilai parameter kisi yang paling tinggi yakni variasi 3% mol V₂O₅, selanjutnya yakni 7% mol V₂O₅, dan yang paling rendah adalah variasi 5% mol V₂O₅. Pergeseran parameter kisi pada setiap variasi tidak terlalu besar yakni \pm 0,001 Å. Sehingga dapat diketahui bahwa tidak ada fasa lain yang bereaksi dengan MZT dikarenakan parameter kisi tidak mengalami perubahan secara drastis. Meningkatnya fasa sekunder menyebabkan kerugian terhadap kontribusi fasa utama MZT. Hal ini ditandai dengan menurunnya molaritas fasa utama.

Pada penelitian kali ini, semua variasi komposisi memiliki fasa sekunder MgTi₂O₅. Fasa sekunder tersebut merupakan fasa peralihan yang sulit dihilangkan ketika sampel dipersiapkan melalui sintesis campuran oksida. Berdasarkan diagram fasa, hasil sintesis dari MgTiO₃ memang berkontribusi untuk munculnya fasa Fasa sekunder MgTi₂O₅ dihasilkan dari reaksi sekunder. tersebut dianggap karena MgO+2TiO₂. Reaksi merugikan berpotensi menurunkan jumlah molar pada fasa utama MZT. Fasa sekunder dapat terjadi apabila substitusi tidak berjalan dengan sempurna selama proses sintering. Selain itu adanya fasa sekunder diakibatkan oleh ketidak homogenan distribusi partikel senyawa, kurang tersedianya energi untuk terjadinya reaksi pembentukan fasa tunggal MgTiO₃. Pada komposisi 3% mol V₂O₅, kehadiran Bi₂Ti₂O₇ menyebabkan peningkatan mekanisme difusi karena fasa sekunder meleleh. Fasa sekunder ini menyebabkan perbaikan pada karakteristik utama MZT. Substitusi ion bismuth pada MZT sulit dilakukan karena ion Bismuth terlalu besar yakni 1,02A dibandingkan dengan Mg²⁺ (0,72A) atau Ti⁴⁺ (0,605A). Bismuth titanath berfungsi untuk co-sintering agent selama proses sinter berlangsung. Munculnya Bi₄V_{1.5}Ti_{0.5}O_{10.85} pada 3% mol V₂O₅ juga tidak dimiliki oleh variasi lain. Hal ini diduga adanya ion V⁵⁺ yang

mensubstitusi Ti⁴⁺. Adanya dua fasa sekunder yang muncul pada komposisi 3% mol V₂O₅ dan tidak dimiliki oleh komposisi lain diduga dapat memperbaiki sifat material dielektrik MZT.

Prosentase molar mengindikasikan banyaknya molar fasa yang terbentuk dari suatu material. Semakin besar fasa MZT yang terbetuk, maka karakteristik utama dari material dielektrik tersebut akan lebih menonjol. Prosentase awal molar sebelum dilakukan proses sintesis untuk MZT adalah 90%, sedangkan ketika dilakukan karakterisasi hasil sintesis didapatkan prosentase untuk MZT dengan variasi 3% mol V_2O_5 adalah 88,48% ± 1,82. Penurunan kontribusi fasa utama MZT diakibatkan oleh hadirnya fasa sekunder dengan prosentase yang cukup besar. Selain itu menurunnya prosentase molaritas untuk aditif yang semula 10% menjadi kurang dari 10% setelah proses sinter dikarenakan ketika selama proses sinter terdapat fasa cair yang kehadirannya bisa saja menghilang diakibatkan titik lelehnya yang jauh dibawah temperature sinter. Sehingga setelah proses sinter berlangsung, aditif yang memiliki komposisi molar 10% menjadi berkurang dari komposisi awal akibat adanya lelehan yag menguap atau keluar dari pellet. Untuk variasi 5% mol V_2O_5 dan variasi 7% mol V_2O_5 prosentase molar setelah sintering berturut-turut adalah $85,11 \pm 3,83$ dan $76,33 \pm 0,98$. Adanya selisih yang cukup besar antara prosentase awal dan akhir setelah melalui proses sintering disebabkan oleh terbentuknya secondary phase pada kedua variasi tersebut. Prosentase molar secondary phase berturut-turut adalah 11,24 \pm 4,75 dan 22,83 \pm 0,18. Hal tersebut menunjukkan peningkatan fasa sekunder menyebabkan kontribusi fasa utama MZT menurun. Secondary phase pada variasi 5% mol V₂O₅ dan 7% mol V₂O₅ diduga merupakan fase konduktif sehingga dapat mempengaruhi hasil uji dielektrik.

4.3 Densifikasi

Proses densifikasi suatu material dimulai dari perlakuan panas yakni sintering. Pada penelitian kali ini, metode yang digunakan yakni *solid state sintering*. *Solid state sintering* merupakan metode yang paling sederhana namun proses yang terjadi pada materialnya cukup rumit. Sintering merupakan metode pemanasan yang dilakukan terhadap suatu material hasil kompaksi yang berbentuk *pellet* pada suhu dibawah titik lelehnya. Pada proses kompaksi, serbuk dipadatkan, mengurangi porositas yang besar, dan memperbesar kontak area antar partikel. Apabila pada saat kompaksi terbentuk pola ikatan bola-bidang maka pada proses sintering akan terbentuk *shrinkage*. Hal ini terjadi pada saat proses sintering berlangsung, gas yang berada pada porositas mengalami *degassing* (peristiwa keluarnya gas pada saat sintering). Apabila temperatur sinter terus dinaikkan, maka akan terjadi difusi permukaan antar partikel material utama dan aditif yang akhirnya akan terbentuk *liquid bridge / necking* (mempunyai fasa campuran antara material utama dan aditif). *Liquid bridge* ini akan menutupi porositas sehingga terjadi eleminasi porositas atau berkurangnya jumlah dan ukuran porositas.

Sebagian besar ikatan antar partikel yang terbentuk saat sintering terjadi ketika temperatur sintering mencapai temperatur maksimum. Ketika sintering berlangsung, material utama MZT tidak meleleh, namun terjadi gabungan antar partikel sehingga porositas. terjadi pengurangan Ketika porositas berhasil dihilangkan melalui proses sintering, struktur mikro yang terdiri dari grain yang dipisahkan satu sama lain oleh grain boundary. Namun, sebagian besar keramik yang dihasilkan oleh solid state sintering masih mengandung beberapa porositas, sehingga perlu adanya fasa cair untuk menghilangkan porositas. Adanya fasa cair saat proses sintering menyebabkan pembentukan fasa tambahan pada grain boundary. Pada tahapan akhir sintering, pellet dihasilkan dari suatu kondisi yang dinamik dimana gradien yang terjadi diakibatkan tegangan termal (thermal stress) dan interaksi pellet dengan atmosfer. Pada banyak kasus, gradien seperti ini memiliki pengaruh yang signifikan dalam proses sintering. Proses sintering fasa padat disebabkan oleh mekanisme difusi. Faktor yang dominan terhadap kecepatan difusi ini adalah temperatur, komposisi, dan tekanan. Proses difusi pori-pori yang terjadi pada green compact menyebabkan pengurangan atau bahkan tertutupnya porositas yang berakibat peningkatan sifat mekanik. Penurunan porositas yang disebabkan oleh proses sintering ditentukan oleh tingkat porositas awal dari *green compact*, suhu sintering, serta waktu sintering. Sehingga pada penelitian kali ini sangat diperhatikan temperature sintering serta tekanan yang diberikan pada saat kompaksi, karena hal ini sangat mempengaruhi mekanisme densifikasi.

Berdasarkan penelitian (Saukani and Suasmoro, 2015), untuk mereduksi temperatur sinter terdapat tiga cara yang dapat dilakukan yaitu:(1) menambahkan dopan yang memiliki titik leleh yang lebih rendah ke dalam host (2) proses sintesis secara kimia yang dapat memperkecil ukuran partikel material (3) mencari material baru yang memiliki temperatur sintering rendah (normalnya di bawah 1000°C). Reduksi temperatur sintering dilakukan untuk memperbaiki sifat dan karakteristik dari material. Reduksi temperatur sinter pada penelitian ini yakni dengan menambahkan material dopan Zn²⁺ kedalam material MgTiO₃ dan juga penambahan fasa cair ke dalam *host* material yakni material V₂O₅ dan Bi₂O₃. Penambahan V₂O₅ serta Bi₂O₃ pada material utama MZT guna menurunkan energi aktivasi dengan cara mengontrol spesi-spesi yang berdifusi. Metode ini mampu menurunkan temperatur sintering dan waktu sintering serta mampu memperbaiki sifat mekanik material MZT. Material MZT memiliki temperatur leleh yang tinggi sehingga memiliki temperatur sintering vang tinggi pula. Jika material ini mengalami proses sintering dengan cara dicampur fasa V₂O₅ serta Bi₂O₃ yang memiliki temperatur sintering yang rendah, maka laju difusi bisa lebih cepat. Sintering fasa padat teraktivasi terjadi ketika material dengan temperatur leleh yang tinggi larut kedalam fasa yang memiliki temperatur yang rendah sehingga tercipta "jalan pintas" untuk terjadinya proses sintering.

Dalam penelitian kali ini, sampel yang diuji adalah sampel $Mg_{0,8}Zn_{0,2}TiO_3$ dengan ditambahkan ditambahkan 10% zat aditif (persen molaritas) yaitu V_2O_5 yang memiliki *melting point* pada suhu 690°C dan Bi₂O₃ yang memiliki *melting point* pada suhu

817°C. MZT non aditif memiliki temperature sintering 1350°C, dengan adanya aditif sebesar 10% menyebabkan penurunan temperatur sintering menjadi 950°C.

Pengukuran densitas masing-masing variasi komposisi dilakukan dengan pengukuran densitas geometri dan densitas archimedes. Material yang sudah melalui proses sintering, harus diukur dimensi dan juga massanya. Untuk pengukuran densitas geometri, data yang diukur adalah dimensi yang meliputi pengukuran diameter dan ketebalan. Pengukuran dimensi alat mikrometer menggunakan sekrup. Sedangkan untuk pengukuran densitas archimedes data yang diperlukan yakni massa kering, massa basah, massa dalam air, dan densitas teoritik masingmasing raw material. Data yang didapatkan tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan densitas relatif. Perhitungan untuk densitas archimedes ditunjukkan pada lampiran D. Berikut adalah hasil dari pengukuran densitas geometri maupun densitas relatif

Variasi komposisi	Densitas Archimedes	Densitas Geometri	Densitas Relatif (%)
MZT02 (literature)	-	-	90
0,9MZT-0,03V2O5	4,4214	4,1612	99,16
0,07Bi ₂ O ₃			
0,9MZT-0,05V2O5	4,1697	3,894	95,9
0,05Bi ₂ O ₃			
0,9MZT-0,07V2O5	3,9439	3,6244	93,08
0,03Bi ₂ O ₃			

Tabel 4.3 Data perhitungan densitas untuk masing-masing variasi komposisi

Untuk lebih memudahkan analisa, selanjutnya dibuat grafik hubungan antara variasi komposisi terhadap densitas relative



Gambar 4.4 Grafik hubungan antara variasi komposisi terhadap densitas relative

Densitas relatif material merupakan perbandingan antara densitas archimedes terhadap densitas teoritik yang bergantung pada jumlah dan volume fasa yang terbentuk dalam tiap sampel. Gambar 4.4 menunjukkan bahwa densitas relatif untuk setiap variasi komposisi adalah >90%. Telah dilaporkan oleh Ermawati et al, MZT02 yang disinter pada temperature 1400°C memiliki densitas relative sebesar 90%. Sedangkan MZT02 yang disinter pada suhu 850°C memiliki densitas relative <85%. Pada pengukuran ini menyatakan bahwa sampel dengan penambahan fasa cair dengan variasi molaritas zat aditif tertentu mampu meningkatkan densifikasi. Peranan fasa cair juga sangat terlihat dalam mereduksi porositas material. Pada proses sinter fasa cair, butir-butir berukuran kecil larut ke dalam fasa cair, bermigrasi melalui fasa cair dan kemudian mengendap di permukaan butir berukuran besar. Sehingga dalam proses sintering fasa cair meskipun porositas dapat direduksi lebih cepat namun ukuran butir akan tumbuh lebih cepat jika dibandingkan dengan sampel tanpa penambahan zat aditif.

Dari hasil pengukuran densitas, baik geometri maupun archimedes meunjukkan hal yang serupa yakni densitas tertinggi ditunjukkan oleh variasi 3% mol V2O5. Variasi tersebut memiliki densitas relatif yang paling tinggi yakni 99,16%. Selanjutnya adalah variasi 5% mol V2O5 yang memiliki densitas relative sebesar 95.9%. Untuk variasi 7% mol V₂O₅ memiliki densitas relative sebesar 93,08%. Densitas relative dipengaruhi oleh bertambahnya jumlah kisi kristal per satuan volume. Setiap kisi memberikan satu dipole maka kenaikan dipole menyebabkan nilai densitas semakin tinggi. Peristiwa ini diakibatkan karena tegangan permukaan V₂O₅ lebih rendah dibandingkan Bi₂O₃ dan titik leleh V₂O₅ lebih rendah daripada Bi₂O₃. Penyusutan paling besar yakni variasi komposisi 3% mol dikarenakan dikarenakan V₂O₅ dan Bi₂O₃ memiliki perbedaan titik leleh, dimana V₂O₅ memiliki titik leleh yang lebih rendah. Sehingga ketika disinter pada suhu 950°C aditif V₂O₅ meleleh lebih dulu dan banyak fasa cair yang keluar dari pellet. Hal ini menyebabkan peran V₂O₅ dalam meningkatkan densifikasi menurun. Selain itu meningkatnya porositas pada variasi 5% mol V₂O₅ dan 7%mol V₂O₅ disebabkan oleh proses sinter yang memasuki tahap intermediet. Pada tahap ini partikel saling mendekat sehingga terjadi pertumbuhan ikatan antar butir. Selain itu oksigen yang masuk pada saat proses kompaksi sehingga terjebak pada saat proses sinter juga berpeluang menyebabkan meningkatnya porositas. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin banyak penambahan V₂O₅ (≥3 mol%) menyebabkan semakin banyak secondary phase yang menghambat sintering MgTiO₃ yang dapat mempengaruhi proses densifikasi sampel.

4.4 Sifat Dielektrik

Pada penelitian kali ini, pengujian sifat dielektrik material dilakukan pada frekuensi 32 MHz - 0,1 Hz dan frekuensi pada rentang x-band yakni 8 GHz - 12 GHz pada temperatur kamar. Karakterisasi sifat dielektrik yang akan dilaporkan ialah permitivitas relatif (ε_r), loss dielektrik (tan δ). Quality factor (Qx*f*),

dan konduktivitas dielektrik (log σ_{AC}).



⁽b)

4.5 menunjukkan hubungan antara Gambar nilai permitivitas relatif (ε_r) terhadap perubahan log frekuensi pada berbagai sampel. Pada grafik tersebut terdapat 2 daerah pengukuran, yakni pada frekuensi rendah (0,1 Hz – 32 Mhz) dan frekuensi tinggi (8 GHz – 12 GHz). Pengukuran pada rentang frekuensi 0,1 Hz - 32 MHz menggunakan impedance analyzer menghasilkan data permitivitas relatif (ε_r) dan faktor disipasi (tan δ). Data yang diperoleh pada saat pengukuran pada frekuensi 8 – 12 GHz yakni S₁₁^{sampel}, S₂₁^{sampel}, S₁₁^{udara}, S₂₁^{udara}, ϕ sampel, dan ϕ udara. Untuk data MZT02 pada frekuensi rendah, didapatkan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ermawati et al dengan suhu sinter 1400°C. Sedangkan MZT02 pada frekuensi tinggi didapatkan dari hasil sintesis pada suhu sinter 950°C selama 4 jam. Data yang didapatkan tersebut selanjutnya akan diolah sehingga menghasilkan karakterisasi sifat dielektrik yang dibutuhkan. Sehingga untuk mendapatkan nilai permitivitas relatif (ε_r) pada frekuensi x-band menggunakan vector network analyzer (VNA) melalui proses perhitungan yang terlampir pada lampiran E.

permitivitas er pada da	aerah dipol polari	isasi
	ε _r pada daerah d	ipol polarisasi
Variasi komposisi	Frekuensi pada ε _r stabil (flat area)	Frekuensi (8-12GHz)
MZT	15 639	15 575

3% mol V₂O₅

5% mol V₂O₅

7%mol V2O5

Tabel 4.4 Daerah transisi antara space charge dan dipol polarisasi dan nilai permitivitas ε_r pada daerah dipol polarisasi

Dapat dilihat pada gambar 4.5, pada frekuensi 0,1 Hz	_
32 MHz sampel MZT memiliki rentang polarisasi dipol yang	g
paling besar. Adanya aditif pada sampel MZT menyebabka	n

22.751

17.184

20.444

20.046

15.484

18.096

space charge yang lebih besar dibandingkan dengan MZT non aditif. Space charge diindikasikan dengan niai permitivitas yang sangat besar dan belum stabil. Hal ini ditunjukkan pada frekuensi 51 Hz nilai permitivitas pada sampel MZT non aditif sudah stabil. Meskipun demikian MZT 02 bukan sampel yang memiliki permitivitas yang paling baik. Hal ini disebabkan pada saat frekuensi x-band menunjukkan nilai permitivitas yang paling rendah diantara yang lainnya. Sedangkan untuk sampel 3% mol V₂O₅, meskipun pada frekuensi 32 KHz baru mulai stabil. namun untuk frekuensi x-band, 3% mol V₂O₅ menunjukkan nilai permitivitas yang paling tinggi yakni 20,046. Sedangkan untuk 5% mol V₂O₅ dan 7% mol V₂O₅ kestabilan nilai permitivitas didapatkan pada frekuensi 320 KHz dan 201 KHz. Dapat disimpulkan untuk nilai permitivitas terbaik yakni sampel 3% mol V2O5. Penurunan permitivitas pada sampel dengan variasi >3% mol V₂O₅ disebabkan adanya fasa sekunder yang menyebabkan heterogenitas pada sampel, seperti yang ditunjukkan oleh hasil refinement. Adanya fasa sekunder diakibatkan oleh adanya substitusi yang tidak berjalan dengan baik. Terdapat fasa Bi₄V_{1.5}Ti_{0.5}O_{10,85} pada komposisi 3% mol V₂O₅ yang memiliki permitivitas tertinggi. Dengan mengingat bahwa ukuran ion V⁺⁵ dan Ti⁺⁴ yang hampir sama, hal ini diasumsikan bahwa ion V mensubstitusi Ti, sehingga menimbulkan electron donor. Ketika dikenai medan listrik, adanya electron donor akan menyebabkan muatan ruang (space *charge*). Naiknya permitivitas yang disebabkan oleh muatan ruang diindikasikan oleh adanya kontribusi dipol muatan ruang dalam butir. Hal ini menyebabkan besarnya nilai permitivitas pada variasi 3% mol V₂O₅.

Mengingat bahwa *secondary phas*e pada material hasil uji ada yang dianggap sebagai fase resistif dan ada yang dianggap sebagai fase konduktif. Fase sekunder resistif atau konduktif ini memiliki dampak yang signifikan pada nilai-nilai ε_r dan tan δ , khususnya untuk daerah polarisasi *space charge*. Pada penelitian kali ini, variasi komposisi yang menghasilkan

fasa sekunder konduktif adalah variasi 5% mol dan 7% mol V₂O₅. Semua variasi komposisi menghasilkan fasa sekunder dari MgTiO₃ vakni MgTi₂O₅, dimana fasa sekunder tersebut menyebabkan komposisi molar fasa utama MZT mengalami sekunder Fase disebabkan diantaranya penurunan. oleh pertumbuhan butir dan cacat kristal selama waktu sintering. Adanya fasa sekunder konduktif mengakibatkan turunnya nilai permitivitas. Selanjutnya hasil analisa XRD dikonfirmasi oleh uji dielektrik. Hasil uji dielektrik juga menyatakan hal serupa bahwa variasi 5% mol dan 7% mol V₂O₅ memiliki karakteristik sifat dielektrik dibawah variasi 3% mol V₂O₅. Berdasarkan tabel 4.4 nilai permitivitas sampel dengan variasi 5% mol V₂O₅ memiliki nilai dibawah variasi 7% mol V₂O₅.

Pengukuran listrik dilakukan dengan pemberian elektroda pada sampel yang berfungsi sebaga katoda dan anoda. Material dielektrik terdiri dari banyak grain dimana batas antara satu grain dengan grain lainnya disebut grain boundary. Ketika material dielektrik berada di daerah medan listrik maka muatan yang ada didalam grain terjadi pergeseran muatan negative melawan arah medan listrik yang diberikan dan sebaliknya untuk muatan positif sehingga membentuk dipol yang dikenal sebagai peristiwa polarisasi. Perbedaan muatan yang ada dalam grain disebabkan oleh adanya defect. Didalam grain boundary terdapat potential barrier sehingga electron yang ada didalamnya terperangkap. Ketika diberi medan listrik, maka ada electron yang dapat melewati grain boundary dan sampai pada elektroda, hal inilah yang disebut space charge. Ketika nilai space charge semakin besar maka probabilitas muatan listrik yang melewati penghalang (barrier) potensial semakin besar, hal ini menyebabkan arus bocor (loss factor) pada frekuensi rendah. Space charge terjadi didalam grain, sehingga ketika pada frekuensi tinggi space charge tidak berlaku karena pergerakannya lambat yang disebabkan oleh adanya jarak pada suatu batas butir. Sedangkan dipole terjadi

didalam kisi yang ada pada *grain*, sehingga dipole dapat bergerak cepat ketika berada pada frekuensi tinggi.

Elektron-elektron dalam material yang tergolong dalam bahan dielektrik cenderung terikat sangat kuat sehingga meskipun diberikan medan listrik, electron bebas tidak akan terbentuk hingga pada batas tertentu, kemampuan inilah yang disebut sebagai permitivitas bahan dielektrik. Polarisasi yang terjadi pada bahan dielektrik bergantung pada frekuensi yang diterapkan padanya. Semakin besar kecenderungan muatan mengalami polarisasi listrik, semakin besar nilai permitivitas. Sehingga dalam hal ini hasil yang dibutuhkan yakni suatu material yang memiliki rentang dipol polarisasi yang besar.

Menurut Moulson dan Herbert (Moulson 2003) Permitivitas bahan dielektrik suatu material dipengaruhi oleh beberapa hal, seperti distribusi fasa utama, fasa sekunder, dan volume pori-pori yang dapat dihitung dengan fraksi menggunakan beberapa dielektrik mixing rules, yaitu Maxwell model, Parallel mixing model, Lichtener model, dan Serial model, seperti yang telah dijelaskan pada bab 2. Untuk keperluan pemodelan tersebut, data % molaritas (v) baik untuk fasa utama maupun fasa sekunder didapatkan dari hasil refinement yakni pada table 4.2. Data $\varepsilon(MgTiO_3)$ yang dilaporkan oleh Kim dan Seo (Kim 2010) memiliki nilai 18,35. Data $\varepsilon(Bi_2Ti_2O_7)$ dan (BiVO₄) yang dilaporkan oleh Qi-Long dan Hui Yang (Qi-Long Zhang 2005) memiliki nilai konstanta dielektrik berturut-turut 125,5 dan 6,8. Dari data referensi tersebut maka dapat dilakukan perhitungan untuk permitivitas distribusi fasa sekunder MgTi₂O₅ dan Bi₄V_{1.5}Ti_{0.5}O_{10.85} dengan menggunakan Parallel mixing model sebagai berikut :

$$\varepsilon_r' = v_1 \varepsilon_{r1}' + v_2 \varepsilon_{r2}' + v_3 \varepsilon_{r3}'$$

$$17,184 = (0,85)(18,35) + (0,036)(6,8) + (0,112)(\varepsilon'_r MgTi_2O_5)$$

$$\varepsilon_{r}^{\prime}$$
 MgTi₂O₅ = 12,046

Perhitungan diatas didapatkan dari komposisi 5% V_2O_5 dengan ε'_r adalah permitivitas relative yang dihitung secara global pada komposisi 5% V₂O₅. v_1 merupakan persen molar fasa MgTiO₃. ε'_{r1} merupakan permitivitas relative fasa MgTiO₃ yang didapatkan dari referensi. v_2 dan ε'_{r2} berturut-turut merupakan persen molar fasa BiVO₄ dan permitivitas relative fasa BiVO₄ yang didapatkan dari referensi. v_3 merupakan persen molar fasa MgTi₂O₅. Sehingga dari data tersebut didapatkan nilai permitivitas relative pada fasa sekunder MgTi₂O₅ yakni sebesar 12,046. Untuk permitivitas relative Bi₄V_{1,5}Ti_{0,5}O_{10,85} dilakukan dengan cara yang serupa yakni menggunakan *Parallel mixing model*. Data yang digunakan yakni pada variasi komposisi 3% mol V₂O₅. Sehingga didapatkan nilai permitivitas relative untuk fasa Bi₄V_{1,5}Ti_{0,5}O_{10,85} adalah 255,62.

Untuk mengetahui daerah space charge dan daerah transisi dapat diketahui pada frekuensi 0,1 Hz-32 MHz, dikarenakan pada frekuensi rentang *x-band* sudah terjadi dipol polarisasi. Konduktivitas sendiri merupakan ukuran dari kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Sehingga untuk bahan dielektrik seperti MgZnTiO₃ diharapkan memiliki nilai konduktivitas yang rendah. Pada material MgZnTiO₃, polarisasi dipolar diakibatkan oleh adanya atom Mg dan Ti yang memiliki muatan yang berbeda. Mg memiliki derajat kovalen Mg²⁺ sedangkan Ti memiliki derajat kovalen Ti⁴⁺. Perbedaan muatan itu yang menyebabkan timbulnya dipol-dipol.



Gambar 4.6 Hubungan antara faktor disipasi (tanδ) terhadap log frekuensi (a) pada frekuensi 0,1 Hz – 32 MHz dan frekuensi 8 GHz – 12 GHz (b) Hasil perbesaran pada frekuensi 8 GHz – 12 GHz

Gambar 4.6 menunjukkan grafik hubungan antara faktor disipasi dielektrik (tan δ) dengan log frekuensi. Faktor disipasi menunjukkan losses pada kapasitor. Sehingga pada penelitian kali ini diharapkan material hasil sintesis memiliki nilai faktor disipasi yang rendah. Dari gambar 4.8 tersebut menunjukkan nilai faktor disipasi yang semakin rendah dengan meningkatnya frekuensi yang dibrikan. Losses terjadi ketika pada log frekuensi <5, sedangkan diatas frekuensi tersebut menunjukkan kestabilan nilai tan δ dengan harga yang rendah. Tren ini menunjukkan bahwa pada frekuensi tinggi perubahan dipol sangat sedikit, sehingga gesekan antar molekul menjadi lebih sedikit. Selain itu peran fasa sekunder resistif dan konduktif memiliki dampak yang signifikan terhadap nilai tan δ khususnya pada frekuensi rendah, dimana frekuensi tersebut adalah daerah terjadinya space charge. Menurunnya fasa sekunder dari MgTiO₃ yakni MgTi₂O₅ serta munculnya fasa Bi₂Ti₂O₇ dan komposisi Bi₄V_{1.5}Ti_{0.5}O_{10.85} pada variasi 3% mol V₂O₅ mengakibatkan menurunnya nilai tan δ . Energi barrier pada grain boundary sampel resistif lebih tinggi dari Energi barrier dalam sampel konduktif. Dengan demikian, gerakan pembawa muatan melalui hambatan resistif pada sampel 3% mol V₂O₅ lebih terbatas daripada ketika melewati hambatan konduktif ketika melewati sampel yang lainnya. Jumlah pembawa muatan yang melewati grain boundary pada variasi 3% mol V₂O₅ lebih sedikit sehingga permitivitasnya paling tinggi diantara variasi yang lain. Hal tersebut mengakibatkan daerah space charge, nilai-nilai permitivitas (ε_r) pada sampel 3% mol V₂O₅ lebih besar dibandingkan dengan variasi lainnya.

Secara keseluruhan dari gambar tersebut ditunjukkan bahwa tan δ semakin menurun seiring meningkatnya nilai frekuensi yang diberikan. Tren ini menunjukkan bahwa pada keadaan frekuensi yang tinggi perubahan posisi dipol sangat sedikit, sehingga gesekan antar molekul menjadi lebih sedikit. Penn et al (1997) menyatakan bahwa tan δ material semakin besar jumlah porositas pada suatu sampel maka tan δ akan semakin

meningkat dan sebaliknya. Pernyataan ini dapat dikonfirmasi dengan hasil eksperimen ini yaitu sampel-sampel yang memiliki densitas relatif diatas 90% memiliki nilai tan δ yang rendah dan relatif stabil.



⁽b)

Gambar 4.7 menunjukkan hubungan antara konduktivitas dielektrik (log σ_{AC}) dengan log frekuensi. Konduktivitas dielektrik dipengaruhi oleh permitivitas dan *losses* suatu bahan. Ketika nilai permitivitas dan *losses* bahan meningkat, maka nilai konduktivitas juga semakin meningkat. Dari gambar tersebut dapat diketahui untuk material MgZnTiO₃ tanpa adanya aditif menunjukkan daerah space charge pada frekuensi dan daerah transisi pada frekuensi. Daerah transisi sendiri merupakan nilai minimum dari log σ_{AC} . Konduktivitas dari material dielektrik pada sampel dievaluasi dengan menggunakan persamaan

$$\sigma_{ac} = \omega \varepsilon_0 \varepsilon_r tan\delta$$

Dimana, $\omega = 2\pi f \operatorname{dan} \varepsilon_0 =$ permitivitas ruang hampa.

Material MZT menunjukkan daerah transisi pada 51 Hz dengan nilai log σ_{AC} = -9.393. Material dengan variasi 3% mol V₂O₅ menunjukkan daerah pada frekuensi 507 Hz dengan nilai log = -6,257. Untuk material 5% mol V_2O_5 dan 7% mol V_2O_5 σ_{AC} berturut-turut menunjukkan daerah transisi pada frekuensi 20,2 KHz dengan nilai log σ_{AC} = -4.98 dan 12.74 KHz dengan nilai log σ_{AC} = -5,24. Konduktivitas dengan nilai terendah yakni pada material 3% mol V₂O₅. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa pada frekuensi 0.1 Hz-32 MHz. MZT non aditif memiliki nilai konduktivitas paling rendah dan juga daerah transisi terjadi lebih awal yakni pada frekuensi 51 - 127 Hz. Adanya aditif menyebabkan pengurangan rentang polarisasi dipol pada suatu bahan. Namun ketika pada frekuensi tinggi, adanya factor ekstrinsik seperti densitas dan fasa sekunder tidak lagi mempengaruhi konduktivitas suatu bahan. Diketahui bahwa ketika suatu material memiliki nilai konduktivitas yang rendah maka material tersebut akan semakin resistif sehingga memperbaiki sifat dielektriknya. Resistansi pada bahan keramik diberikan oleh grain dan grain boundary. Dari sampel bahan keramik, pada umumnya didominasi oleh keadaan grain boundary.



(b)

Gambar 4.8 Hubungan antara faktor kualitas (log Qxf) terhadap log frekuensi (a) pada frekuensi 0, 1 Hz – 32 MHz (b) pada frekuensi 8 GHz – 12 GHz

Pada gambar 4.8 diketahui bahwa faktor kualitas untuk semua variasi semakin meningkat dengan meningkatnya frekuensi. Tingginya factor kualitas menunjukkan rendahnya *losses.* Komposisi MZT 02 memiliki nilai Qx*f* terbaik ketika dilakukan pengukuran pada frekuensi rendah. Ketika dilakukan pengukuran pada frekuensi x-band, hasil yang didapat untuk semua variasi komposisi hampir serupa yakni semua sampel mengalami fluktuasi. Namun ketika diambil frekuensi *center* pada rentang frekuensi x-band yakni 10 GHz, nilai tertinggi terdapat pada material 3%mol V₂O₅ seperti yang ditunjukkan pada table 4.5 dibawah. Namun selisih nilai *quality factor* pada semua variasi komposisi tidak menunjukkan perbedaan yang besar. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh densitas serta fase sekunder kurang signifikan untuk frekuensi *x-band*.

Tabel 4.5 Nilai Log (Qxf) pada frekuensi 10 GHz

Variasi komposisi	Log (Qxf) pada frekuensi
	10 GHz
MZT	12,482
3%mol V2O5	12,506
5%mol V2O5	12,124
7%mol V2O5	12,354

Umumnya, faktor kualitas (Qxf) dipengaruhi oleh faktor ekstrinsik, seperti adanya fase sekunder, pengotor, densitas, serta morfologi butir. Seperti yang yang dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan 4.3, efek dari fase sekunder dan densitas mendapat perhatian utama dalam penelitian ini dikarenakan kedua hal tersebut mempengaruhi sifat dielektrik suatu spesimen. Seperti yang diketahui sebelumnya, berkurangnya molaritas V₂O₅ sebagai aditif menyebabkan ukuran butir meningkat, sehingga porositas dan *grain* boundary menurun. Hal ini diikuti oleh densitas material yang semakin meningkat. Fenomena tersebut mengurangi cacad kisi dan meningkatkan nilai Q×f. Hal ini yang menyebabkan material dengan komposisi V₂O₅ yang paling rendah memiliki kualitas terbaik. Data karakteristik sifat dielektrik yang meliputi konstanta dielektrik, *quality factor*, dan faktor disipasi dielektrik menunjukkan bahwa sampel $Mg_{0,8}Zn_{0,2}TiO_3$ dengan aditif V_2O_5 dan Bi_2O_3 merupakan material yang cocok untuk digunakan pada frekuensi tinggi. Adanya aditif dapat memperbaiki densitas serta memperbaiki sifat dielektriknya.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini antara lain:

- 1. Penambahan aditif V_2O_5 dan Bi_2O_3 menyebabkan penurunan temperatur sintering MgZnTiO₃ dari 1350°C menjadi 950°C.
- Perbedaan fasa yang dihasilkan oleh hasil sintesis variasi komposisi 3% mol V₂O₅, 5% mol V₂O₅, 7% mol V₂O₅. Variasi komposisi 3% mol V₂O₅ menghasilkan fasa MgTiO₃, Bi₂Ti₂O₇, Bi₄V_{1,5}Ti_{0,5}O_{10,85}, dan MgTi₂O₅ Variasi komposisi 5% mol V₂O₅ menghasilkan fasa MgTiO₃, BiVO₄, dan MgTi₂O₅. Variasi komposisi 3% mol V₂O₅ menghasilkan fasa MgTiO₃, BiVO₄, dan MgTi₂O₅.
- Penambahan aditif pada material MgZnTiO₃ di frekuensi rendah menyebabkan kerugian karena menimbulkan *space charge* yang besar. Namun hal ini tidak berlaku pada frekuensi tinggi, penambahan aditif justru menyebabkan nilai permitivitas semakin tinggi.
- Hasil terbaik adalah variasi komposisi 0,9MZT-0,03V₂O₅-0,07Bi₂O₃ dikarenakan memiliki densitas terbaik yakni 99,16% dan memiliki nilai permitivitas tertinggi yakni 22,751.

5.2 Saran

- 1. Perlu dilakukan karakterisasi SEM untuk mengetahui morfologi butir.
- Perlu dilakukan karakterisasi listrik dengan fungsi temperatur untuk mendapatkan nilai konstanta temperatur τ_f pada material uji

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR PUSTAKA

B. A. Wechsler and R. B. Von Dreele, 1989. *Structure refinements* of Mg₂TiO₄, MgTiO₃ and MgTi₂O₅ by time-of-flight neutron powder diffraction. Acta Crystallogr 542–549.

Barsoum, M. 2002. Fundamentals of Ceramics. CRC Press.

- Chairatul Umamah and Suminar Pratapa, 2012. Sintesis Zn_{0.2}Mg_{0.8}TiO₃ Pada Temperatur 510°C dan 800°C Menggunakan Metode Pencampuran Larutan. J. Sains Dan Seni ITS B60–B62.
- Ermawati, Frida U., Suminar Pratapa, S. Suasmoro, Thomas Hübert, and Ulrich Banach, 2016,Preparation and Structural Study of Mg1–xZnxTiO3 Ceramics and Their Dielectric Properties from 1 Hz to 7.7 GHz. Journal of Materials Science: Materials in Electronics 27(7): 6637– 6645.
- E.I. Orlova, E.P. Kharitonova, N.V. Gorshkov, V.G. Goffman, V.I. Voronkova. 2016. *Phase formation and electrical* properties of Bi₂O₃-based compounds in the Bi₂O₃-La₂O₃-

MoO₃ system M.V. Lomonosov Moscow State University, Leninskiegory, 119991 Moscow, Russia Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, 410054 Saratov, Russia.

- Huang, J.B., Yang, B., Yu, C.Y., Zhang, G.F., Xue, H., Xiong, Z.X., Viola, G., Donnan, R., Yan, H.X., Reece, M.J., 2015. *Microwave and terahertz dielectric properties of MgTiO₃-CaTiO₃ ceramics*. Mater. Lett. 138, 225–227. doi:10.1016/j.matlet.2014.09.122
- M. N. Rahaman. *Ceramic Prossesing and Sintering*. Second Edition
- Manil Kang, Eunji Oh, Inkoo Kim, Sok Won Kim, Ji-Wook Ryu, Yong-Gi Kim. 2011. Optical characteristics of amorphous V₂O₅ thin films colored by an excimer laser. Department of Physics, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Republic of

Korea. Department of Physics, Kongju National University, Kongju 314-701, Republic of Korea.

- Min Zeng, Haihong Yin, Ke Yu. 2012 . Synthesis of V_2O_5 nanostructures with various morphologies and their electrochemical and field-emission properties. Key Laboratory of Polar Materials and Devices (Ministry of Education of China), Department of Electronic, Shanghai 200241, PR China.
- Morkoç, H., Özgür, Ü., 2008. Zinc Oxide: Fundamentals, Materials and Device Technology. John Wiley & Sons.
- Moulson, A.J., Herbert, J.M., 2003. *Electroceramics: Materials, Properties, Applications.* John Wiley & Sons.
- Rani, Sefrilita Risqi Adikaning, and S. Suasmoro. 2016. "Pencampuran dengan Attritor Mill pada Sintesis Mg0,8Zn0,2TiO3." *Jurnal Sains dan Seni ITS* 5 (2). http://ejurnal.its.ac.id.
- Saukani, M., Suasmoro, S., 2015. *Characterization of Mg*_{0. 8}*Zn*_{0.} ₂*TiO*₃ *Prepared via Liquid Phase Sintering*, in: Advanced Materials Research. Trans Tech Publ, pp. 11–14.
- S. Le, J. Zhang, X. Zhu, et al., 2013. Sintering and electrochemical performance of Y2O3- doped barium zirconate with Bi₂O₃ as sintering aids, J. Power Sources 232 (2013) 219–223.
- Suk-joong. L. k. 2005. *Sintering: Densification, grain growth, & microstructure*. Linarce house, Jordan hill, Oxford OX2 8DP.
- V. De Marco, V.M. Sglavo. 2015. Effect of bismuth oxide as sintering aid for Ggadolinia- doped Ceria at 1050 °C, ECS Trans. 68 (2015) 413–420.
- Wang, Z.L., 2004. Zinc oxide nanostructures: growth, properties and applications. J. Phys. Condens. Matter 16, R829. doi:10.1088/0953-8984/16/25/R01

- Wechsler, B.A., Navrotsky, A., 1984. Thermodynamics and structural chemistry of compounds in the system MgO-TiO2. J. Solid State Chem. 55, 165–180. doi:10.1016/0022-4596(84)90262-7.
- Wechsler, B.A., Von Dreele, R.B., 1989. Structure refinements of Mg 2 TiO 4, MgTiO 3 and MgTi 2 O 5 by time-of-flight neutron powder diffraction. Acta Crystallogr. B 45, 542– 549. doi:10.1107/S010876818900786X
- W. Werising, in: B.C.H. Steele (Ed.), *Electronic Ceramics*, Elsevier, London, 1991, p. 67.
- Zhang, M., Li, L., Xia, W., Liao, Q., 2012. Structure and properties analysis for $MgTiO_3$ and $(Mg_{0.97}M_{0.03})TiO_3$ (M = Ni, Zn, Co and Mn) microwave dielectric materials. J. AlloysCompd.537,76–79. doi:10.1016/j.jallcom.2012.05.026

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

LAMPIRAN A DATA BASE SAMPLE

```
Data ICSD untuk MgTiO<sub>3</sub>
 COL ICSD Collection Code 65794
DATE Recorded Dec 27, 1990; updated Jun 26, 1998
NAME Magnesium titanium oxide
MINR Geikielite
MINR Corundum group
 FORM Mg Ti O3
    = Mg O3 Ti
 TITL Structure refinements of Mq2 Ti O4, Mq Ti O3 and Mq Ti2
 05 by time-
    of-flight neutron powder diffraction
 REF ASBSD 45 (1989) 542-549
 AUT Wechsler B A, DreeleÿRÿBÿvon
 CELL a=5.055(0) b=5.055(0) c=13.899(1) à=90.0 á=90.0 c=120.0
    V=307.6 D=4.05 Z=6
 SGR R -3 H (148) - trigonal
 CLAS -3
          (Hermann-Mauguin) - C3i (Schoenflies)
 PRS hR30
 ANX ABX3
PARM Atom No OxStat Wyck -----X---- -----Y----- -----Z----
 - -SOF-
                              Ο.
          1 2.000 6c 0.
                                      0.35570(5)
    Ma
         1 4.000 6c 0. 0.
                                      0.14510(7)
     тi
         1 -2.000 18f 0.31591(8) 0.02146(8) 0.24635(3)
     \cap
 WYCK f c2
 ÿ
  TF Atom U(1,1) U(2,2) U(3,3) U(1,2) U(1,3) U(2,3)
            0.0050 0.0050 0.0055 0.0025 0.0000 0.0000
    Mg 1
               (2) (2)
           (2)
                           (1)
          0.0035 0.0035 0.0042 0.0018 0.0000 0.0000
    Ti 1
           (2)
                (2) (3) (1)
    0 1 0.0040 0.0041 0.0059 0.0016 0.0010 0.0013
           (2) (2) (2) (1) (1)
                                       (1)
 REM
       NDP (neutron diffraction from a powder)
 REM
       RVP
      M PDF 6-494
 REM
 RVAL 0.026
 TEST Calculated density unusual but tolerable. (Code 23)
```

• Data COD untuk BiVO₄

```
data 9013436
loop
_publ_author name
 'Sleight, A. W.'
'Chen, H.-Y.'
'Ferretti, A.'
'Cox, D. E.'
 publ section title
 Crystal growth and structure of BiVO4
 Locality: synthetic
 Sample: T = 4.5 K
;
 _journal name full
                              'Materials Research
Bulletin'
 _journal_page first
                              1571
 _journal_page_last
                              1581
                              10.1016/0025-
  journal paper doi
5408 (72) 90227-9
 _journal_volume
                              14
_journal_year
                              1979
 chemical formula sum
                              'Bi 04 V'
 _chemical_name mineral
                             Clinobisvanite
 _space_group IT number
                              15
_symmetry_space group name Hall '-I 2b'
 _symmetry_space_group_name_H-M 'I 1 1 2/b'
_cell_angle_alpha
                              90
 _cell_angle_beta
                              90
 _cell_angle gamma
                              90.394
 _cell_length a
                              5.2146
 _cell_length_b
                              5.0842
 cell length c
                              11.7063
_____volume
                              310.351
 _diffrn_ambient_temperature
                              4.5
_exptl_crystal_density_diffrn 6.933
 _cod_original formula sum
                              'Bi V 04'
  cod database code
                              9013436
 loop
 _symmetry_equiv_pos_as_xyz
x,y,z
1/2+x,1/2+y,1/2+z
 -x,1/2-y,z
1/2-x,-y,1/2+z
▪ x,1/2+y,-z
_____
```
```
1/2+x,+y,1/2-z
 -x,-y,-z
1/2-x,1/2-y,1/2-z
loop_
_atom_site_label
_atom_site_fract x
__atom_site_fract_y
 _atom_site_fract_z
__atom_site_U_iso_or_equiv
Bi 0.00000 0.25000 0.63630 0.00152
V 0.00000 0.25000 0.13900 0.00253
01 0.15140 0.50980 0.21030 0.00380
02 0.26270 0.38060 0.44810 0.00355
```

• Data COD untuk Bi₂Ti₂O₇

```
data 1533740
loop
 _publ_author name
 'Hector, A.L.'
'Wiggin, S.B.'
 publ section title
 Synthesis and structural study of stoichiometric Bi2
 Ti2 07 pyrochlore
 ;
 journal name full
                               'Journal of Solid
 State Chemistry'
 _journal_page first
                               139
_journal_page last
                               145
_journal_volume
                               177
 _journal_year
                               2004
                               'Bi2 07 Ti2'
 _chemical_formula sum
                              'Bi2 (Ti2 O7)'
 _chemical_name systematic
_space_group_IT_number
                               227
 _symmetry_space_group_name_Hall '-F 4vw 2vw 3'
_symmetry_space_group_name_H-M 'F d -3 m :2'
 cell angle alpha
                               90
 _cell_angle_beta
                               90
 _cell_angle_gamma
                               90
 _cell_formula units Z
                               8
 _cell_length a
                               10.35907
_____cell_length b
                               10.35907
 _cell_length c
                               10.35907
 cell volume
                               1111.635
JSSCBI
  cod data source file
Hector JSSCBI 2004 1663.cif
_cod_data_source_block
                              Bi207Ti2
  cod database code
                               1533740
 loop
 symmetry equiv pos as xyz
 x, y, z
 -y,x+1/4,z+1/4
 -x+3/4,-y+1/4,z+1/2
y+3/4,-x,z+3/4
x,-y+1/4,-z+1/4
y+3/4, x+1/4, -z+1/2
 -x+3/4, y, -z+3/4
I -y,-x,-z
```

```
y,z,x
 y+1/2,-z+3/4,-x+1/4
 z+1/4,y+3/4,-x+1/2
 -y+1/4, z+1/2, -x+3/4
 -z,-y+1/2,-x+1/2
 -y+1/4,-z+1/4,x
 z+1/4,-y,x+1/4
 -z+1/2,y+1/4,x+3/4
 -x,-y,-z
 y,-x-1/4,-z-1/4
 x-3/4, y-1/4, -z-1/2
 -y-3/4,x,-z-3/4
 -x,y-1/4,z-1/4
 -y-3/4,-x-1/4,z-1/2
x-3/4,-y,z-3/4
 y,x,z
 -z,-x,-y
 x,-z-1/4,-y-1/4
 z-3/4, x-1/4, -y-1/2
 -x-3/4,z,-y-3/4
 -z,x-1/4,y-1/4
 -x-3/4,-z-1/4,y-1/2
 z-3/4,-x,y-3/4
 x,z,y
 -y,-z,-x
 -y-1/2, z-3/4, x-1/4
 -z-1/4,-y-3/4,x-1/2
 y-1/4,-z-1/2,x-3/4
 z,y-1/2,x-1/2
 y-1/4,z-1/4,-x
 -z-1/4, y, -x-1/4
 z-1/2,-y-1/4,-x-3/4
 x,y+1/2,z+1/2
 -y, x+3/4, z+3/4
 -x+3/4,-y+3/4,z+1
y+3/4,-x+1/2,z+5/4
 x,-y+3/4,-z+3/4
 y+3/4, x+3/4, -z+1
 -x+3/4,y+1/2,-z+5/4
 -y,-x+1/2,-z+1/2
 z, x+1/2, y+1/2
 -x, z+3/4, y+3/4
 -z+3/4,-x+3/4,y+1
 x+3/4,-z+1/2,y+5/4
 z,-x+3/4,-y+3/4
 x+3/4, z+3/4, -y+1
 -z+3/4, x+1/2, -y+5/4
                      . . . . . . . . . . . . . . . . . . .
```

62

-x,-z+1/2,-y+1/2 y,z+1/2,x+1/2 y+1/2,-z+5/4,-x+3/4 z+1/4,y+5/4,-x+1 -y+1/4,z+1,-x+5/4 -z,-v+1,-x+1 -y+1/4,-z+3/4,x+1/2 z+1/4,-y+1/2,x+3/4 -z+1/2, y+3/4, x+5/4 -x,-y+1/2,-z+1/2 y,-x+1/4,-z+1/4 x-3/4,y+1/4,-z -y-3/4, x+1/2, -z-1/4 -x,y+1/4,z+1/4 -y-3/4,-x+1/4,z x-3/4,-y+1/2,z-1/4 y, x+1/2, z+1/2 -z,-x+1/2,-y+1/2 x,-z+1/4,-y+1/4 z-3/4, x+1/4, -y -x-3/4, z+1/2, -y-1/4 -z, x+1/4, y+1/4 -x-3/4,-z+1/4,y z-3/4, -x+1/2, y-1/4 x,z+1/2,y+1/2 -y,-z+1/2,-x+1/2 -y-1/2,z-1/4,x+1/4 -z-1/4,-y-1/4,x y-1/4,-z,x-1/4 z, y, x y-1/4, z+1/4, -x+1/2 -z-1/4,y+1/2,-x+1/4 z-1/2,-y+1/4,-x-1/4 x+1/2, y, z+1/2 -y+1/2,x+1/4,z+3/4 -x+5/4,-y+1/4,z+1 y+5/4,-x,z+5/4 x+1/2,-y+1/4,-z+3/4 y+5/4, x+1/4, -z+1 -x+5/4,y,-z+5/4 -y+1/2,-x,-z+1/2 z+1/2, x, y+1/2 -x+1/2, z+1/4, y+3/4 -z+5/4, -x+1/4, y+1x+5/4,-z,y+5/4

```
-x+1/2,-z,-y+1/2
 y+1/2,z,x+1/2
 y+1,-z+3/4,-x+3/4
 z+3/4,y+3/4,-x+1
 -y+3/4, z+1/2, -x+5/4
 -z+1/2,-y+1/2,-x+1
 -y+3/4,-z+1/4,x+1/2
 z+3/4,-y,x+3/4
 -z+1,y+1/4,x+5/4
 -x+1/2,-y,-z+1/2
 y+1/2,-x-1/4,-z+1/4
 x-1/4,y-1/4,-z
 -y-1/4, x, -z-1/4
 -x+1/2,y-1/4,z+1/4
 -y-1/4,-x-1/4,z
 x-1/4,-y,z-1/4
 y+1/2, x, z+1/2
 -z+1/2,-x,-y+1/2
 x+1/2,-z-1/4,-y+1/4
z-1/4,x-1/4,-y
 -x-1/4, z, -y-1/4
 -z+1/2,x-1/4,y+1/4
 -x-1/4,-z-1/4,y
 z-1/4,-x,y-1/4
 x+1/2, z, y+1/2
 -y+1/2,-z,-x+1/2
 -y,z-3/4,x+1/4
 -z+1/4,-y-3/4,x
 y+1/4,-z-1/2,x-1/4
 z+1/2,y-1/2,x
 y+1/4,z-1/4,-x+1/2
 -z+1/4, y, -x+1/4
 z,-y-1/4,-x-1/4
 x+1/2,y+1/2,z
 -y+1/2, x+3/4, z+1/4
 -x+5/4,-y+3/4,z+1/2
 y+5/4,-x+1/2,z+3/4
 x+1/2,-y+3/4,-z+1/4
 y+5/4, x+3/4, -z+1/2
 -x+5/4,y+1/2,-z+3/4
 -y+1/2,-x+1/2,-z
 z+1/2, x+1/2, y
 -x+1/2, z+3/4, y+1/4
 -z+5/4, -x+3/4, y+1/2
 x+5/4,-z+1/2,y+3/4
 z+1/2,-x+3/4,-y+1/4
```

x+5/4, z+3/4, -y+1/2 -z+5/4, x+1/2, -y+3/4 -x+1/2,-z+1/2,-y y+1/2, z+1/2, x y+1,-z+5/4,-x+1/4 z+3/4, y+5/4, -x+1/2 -y+3/4,z+1,-x+3/4 -z+1/2,-y+1,-x+1/2 -y+3/4,-z+3/4,x z+3/4,-y+1/2,x+1/4 -z+1, y+3/4, x+3/4 -x+1/2,-y+1/2,-z v+1/2,-x+1/4,-z-1/4 y+1/2, x+1/2, z -z+1/2,-x+1/2,-y x+1/2,-z+1/4,-y-1/4 z-1/4, x+1/4, -y-1/2 -x-1/4, z+1/2, -y-3/4 -z+1/2, x+1/4, y-1/4 -x-1/4,-z+1/4,y-1/2 z-1/4,-x+1/2,y-3/4 x+1/2, z+1/2, y -y+1/2,-z+1/2,-x -y,z-1/4,x-1/4 -z+1/4,-y-1/4,x-1/2 y+1/4,-z,x-3/4 z+1/2, y, x-1/2 y+1/4,z+1/4,-x -z+1/4, y+1/2, -x-1/4 z,-y+1/4,-x-3/4 loop _atom_site_label atom site type symbol _atom_site_fract x atom site fract y _atom_site_fract z atom site occupancy atom site U iso or equiv 02 0-2 0.125 0.125 0.125 0.896 0.0 Bi1 Bi+3 0.0167 0.0167 -0.0357 0.1667 0.0 01 0-2 0.125 0.125 0.43128 1 0.0 Til Ti+4 0.5 0.5 0.5 1 0.0 03 0-2 0.215 0.215 0.215 0.026 0.0

• Data COD untuk Bi₄V_{1,5}Ti_{0,5}O_{10,85}

```
------
data 1534183
loop
  publ author name
 'Aurivillius, B.'
 publ section title
 Mixed oxides with layer lattice. III. Structure of Ba
Bi4 Ti 4 015
_journal_name full
                              'Arkiv foer Kemi'
_journal_page_first
                              519
_journal_page last
                              527
_journal_volume
                              2
_journal_year
                              1950
_chemical_formula sum
                              'Ba Bi4 015 Ti4'
 _chemical_name_systematic
                              'Ba Bi4 Ti4 015'
_space_group_IT_number
                              139
______symmetry_space_group_name_Hall '-I 4 2'
_symmetry_space_group_name_H-M 'I 4/m m m'
  cell angle alpha
                               90
_cell_angle_beta
                              90
_cell_angle_gamma
                              90
2
_cell_length a
                              3.864
_cell_length b
                              3.864
__cell_length_c
                              41.75999
_cell volume
                              623.497
_citation_journal id ASTM
                              ARKEAD
  cod data source file
Aurivillius_ARKEAD_1950_231.cif
_cod_data_source_block Ba1Bi4015Ti4
_cod_original_cell_volume 623.4974
_cod_original_cell_volume
_cod_original_formula sum
                              'Bal Bi4 015 Ti4'
  cod database code
                              1534183
 loop_
 symmetry equiv pos as xyz
x,y,z
 -y,x,z
 -x,-y,z
y,-x,z
x,-y,-z
ı y,x,-z
 -x,y,-z
-y,-x,-z
-x,-y,-z
y,-x,-z
I X, Y, -Z
L______
```

-y,x,-z -x,y,z -y,-x,z x,-y,z y,x,z x+1/2,y+1/2,z+1/2 -y+1/2, x+1/2, z+1/2 -x+1/2,-y+1/2,z+1/2 y+1/2,-x+1/2,z+1/2 x+1/2,-y+1/2,-z+1/2 y+1/2, x+1/2, -z+1/2 -x+1/2, y+1/2, -z+1/2 -y+1/2,-x+1/2,-z+1/2 -x+1/2,-y+1/2,-z+1/2 y+1/2,-x+1/2,-z+1/2 x+1/2,y+1/2,-z+1/2 -y+1/2, x+1/2, -z+1/2 -x+1/2, y+1/2, z+1/2 -y+1/2,-x+1/2,z+1/2 x+1/2,-y+1/2,z+1/2 y+1/2, x+1/2, z+1/2 loop _atom_site label atom site type symbol _atom_site fract x _atom_site_fract_y atom site fract z _atom_site occupancy atom site U iso or equiv Bi3 Bi+3 0 0 0.221 0.8 0.0 Ba3 Ba+2 0 0 0.221 0.2 0.0 04 0-2 0 0.5 0.148 1 0.0 Til Ti+4 0 0 0.452 1 0.0 05 0-2 0 0 0.302 1 0.0 Bal Ba+2 0 0 0 0.2 0.0 01 0-2 0 0 0.5 1 0.0 03 0-2 0 0 0.402 1 0.0 Ti2 Ti+4 0 0 0.352 1 0.0 02 0-2 0 0.5 0.048 1 0.0 Bi2 Bi+3 0 0 0.106 0.8 0.0 Ba2 Ba+2 0 0 0.106 0.2 0.0 Bi1 Bi+3 0 0 0 0.8 0.0 06 0-2 0 0.5 0.25 1 0.0

• Data COD untuk MgTi₂O₅

```
data 9002011
loop
 publ author name
 'Yang, H.'
'Hazen, R. M.'
_publ_section_title
 Comparative high-pressure crystal chemistry of
karrooite, MgTi205, with
 different ordering states
 Sample P600, x(Ti) in M1 = .070, P = 0 GPa
1 2
_journal name full
                            'American
Mineralogist'
_journal_page_first
                            130
_journal_page_last
                            137
_journal_volume
                            84
_journal_year
                            1999
_chemical_formula sum
                            'Mg 05 Ti2'
 chemical name mineral
                           Pseudobrookite
_space_group_IT number
                            63
_____symmetry_space_group_name Hall '-B 2 2b'
_cell_angle_alpha
                            90
_cell_angle_beta
                            90
_cell_angle_gamma
                            90
_cell_length a
                            9.7131
_cell_length b
                            10.0190
__cell_length_c
                            3.7363
_cell_volume
                            363.600
0
_exptl_crystal_density_diffrn 3.655
_cod_original_formula_sum '(Mg Ti2) 05'
 cod database code
                           9002011
loop_
L______
```

```
68
```

```
symmetry equiv pos as xyz
1
 x,y,z
1
1/2+x,y,1/2+z
 -x,1/2+y,z
Т
 1/2-x,1/2+y,1/2+z
▪ x,1/2-y,-z
 1/2+x,1/2-y,1/2-z
! x,y,-z
1/2+x,y,1/2-z
 -x,-y,z
1/2-x,-y,1/2+z
i x,1/2-y,z
1/2+x,1/2-y,1/2+z
 -x,1/2+y,-z
1/2-x,1/2+y,1/2-z
 -x,-y,-z
1/2-x,-y,1/2-z
loop
_atom_site_fract x
_atom_site_fract y
 _atom_site fract z
 atom site occupancy
.
  _____atom_site_U iso or equiv
 Mg1 0.80520 0.25000 0.00000 0.93000 0.00595
 Til 0.80520 0.25000 0.00000 0.07000 0.00595
Ti2 0.13350 0.43320 0.00000 0.96500 0.00481
Mg2 0.13350 0.43320 0.00000 0.03500 0.00481
 01 0.21880 0.25000 0.00000 1.00000 0.00684
02 0.04590 0.88650 0.00000 1.00000 0.00861
 03 0.31360 0.93740 0.00000 1.00000 0.00709
```

LAMPIRAN B PERHITUNGAN KOMPOSISI

• Perhitungan sintesis Mg_{0,8}Zn_{0,2}TiO₃

Diketahui :	
~ Ar Mg = 24,305	~ Mr MgO= 40,299
\sim Ar Zn = 65,409	\sim Mr ZnO = 81,403
~ Ar Ti = 47,867	~ Mr TiO ₂ = 79,855
$\sim \text{Ar O} = 15,99$	

Tabel 1. Perhitungan komposisi untuk 1 mol

Senyawa	Komposisi (%)	Mr	Massa (gr)
MgO	0,8	40,299	32,23
ZnO	0,2	81,403	16,28
TiO ₂	1	79,855	79,85
Jumlah			128,374

Tabel 2. Perhitungan komposisi untuk 0,1 mol

Senyawa	Massa (gr)
MgO	3,223
ZnO	1,628
TiO ₂	7,985
Jumlah	12,8374

Perbandingan massa \rightarrow bahan : bola : Alkohol

$$1:5:\frac{5}{3}$$

• Perhitungan massa relatif (Mg/Zn)TiO₃

- ~ Ar Mg = 24,305 ~ Ar Zn = 65,409 ~ Ar Ti = 47,867
- ~ Ar O = 15,99

Tabel 3. Perhitungan komposisi untuk 1 mol

Senyawa	Komposisi (%)	Ar	Massa (gr)
Mg	0,8	24,305	19,444
Zn	0,2	65,409	13,0818
Ti	1	47,867	47,867
0	3	15,99	47,97
Jumlah			128,3628

• Perhitungan massa relatif V₂O₅

Diketahui : $\sim \text{Ar V} = 50,94$ $\sim \text{Ar O} = 16$

Tabel 4. Perhitungan komposisi untuk 1 mol

Senyawa	Komposisi (%)	Ar	Massa (gr)
V	2	50,94	101,88
0	5	16	80
Jumlah			181,88

• Perhitungan massa relatif Bi₂O₃

Diketahui : ~ Ar Bi = 208,98 ~ Ar O = 16

Tabel 5. Perhitungan komposisi untuk 1 mol

Senyawa	Komposisi (%)	Ar	Massa (gr)
Bi	2	208,98	417,86
0	3	16	48
Jumlah			465,96

• Perhitungan sintesis 0,9MZT-0,03V₂O₅-0,07Bi₂O₃

Senyawa	Komposisi (%)	Ar	Massa (gr)
MZT	90	128,36	115,55
V_2O_5	3	181,88	5,4564
Bi ₂ O ₃	7	465,96	32,617
Jumlah			153,623

Tabel 6. Perhitungan komposisi untuk 1 mol

Tabel 7. Perhitungan komposisi untuk 0,1 mol

Senyawa	Massa (gr)
MZT	11,55
V_2O_5	0,5456
Bi ₂ O ₃	3,2617
Jumlah	15,3573

Perbandingan massa→ bahan : bola : Alkohol

$$1:5:\frac{5}{3}$$

• Perhitungan sintesis 0,9MZT-0,05V2O5-0,05Bi2O3

Senyawa	Komposisi (%)	Ar	Massa (gr)
MZT	90	128,36	115,55
V_2O_5	5	181,88	9,094
Bi ₂ O ₃	5	465,96	23,298
Jumlah			147,942

Tabel 8. Perhitungan komposisi untuk 1 mol

Tabel 9. Perhitungan komposisi untuk 0,1 mol

Senyawa	Massa (gr)
MZT	11,55
V_2O_5	0,9094
Bi ₂ O ₃	2,3298
Jumlah	14,794

Perbandingan massa→ bahan : bola : Alkohol

$$1:5:\frac{5}{3}$$

• Perhitungan sintesis 0,9MZT-0,07V2O5-0,03Bi2O3

Tabel 10. Perhitungan komposisi untuk 1 mol

Senyawa	Komposisi	Ar	Massa (gr)
5	(%)		(gr)

MZT	90	128,36	115,55
V_2O_5	5	181,88	12,73
Bi ₂ O ₃	5	465,96	13,9788
Jumlah			142,232

Tabel 11. Perhitungan komposisi untuk 0,1 mol

Senyawa	Massa (gr)
MZT	11,55
V_2O_5	1,273
Bi ₂ O ₃	1,3978
Jumlah	14,223

Perbandingan massa \rightarrow bahan : bola : Alkohol

$$1:5:\frac{5}{3}$$

LAMPIRAN C DATA HASIL MATCH DAN REFINEMENT



a. Raw material V₂O₅



b. Raw material Bi₂O₃



c. Sampel Mg_{0.8}Zn_{0.2}TiO₃ dengan kalsinasi 850°C 4 jam

PHASE 1		(MZT)
Sampel	:	MZT
Metode	:	Normal
Parameter kisi (Å)	:	a =5.058949±0.000282
		b =5.058949±0.000282
		c =13.909819±0.000993
Volume sel (Å ³)	=	308.299316 ± 0.032799
Densitas (gr/cm ³)	=	4.022
Berat molekul	=	747.120
Molar Percentage Of Phases	=	-

Weight Percentage Of Phases	II	-
Parameter Kecocoka	n	
GOF	=	1.119
Rp	Ш	8.99
Rwp	Ш	11.76
Rexp	Ш	10.78
R-Bragg Factor	Ш	1.28

d. Sampel $0.9MZT-0.03V_2O_5-0.07Bi_2O_3$ 950°C 4 jam



PHASE 1	(MZT) Trigonal
Sampel	:	0,9MZT-0,03V2O5-0,07 Bi2O3
Metode	:	Normal
Parameter kisi (Å)	:	$a = 5,058894 \pm 0,000278$
		$b = 5,058894 \pm 0,000278$

		$c = 13,910979 \pm 0.001087$		
Volume sel (Å ³)	=	308,318420 ± 0,033968		
Densitas (gr/cm ³)	=	4,132		
Berat molekul	=	767,589		
Molar Percentage Of Phases	=	88,48 ± 1,82		
Weight Percentage Of Phases	=	90,48 ± 1,62		
PHASE 2	(Bi ₂ Ti	2O7) Cubic		
Parameter kisi (Å)	:	$a = 10,339235 \pm 0,003621$		
		$b = 10,339235 \pm 0,003621$		
		$c = 10,339235 \pm 0,003621$		
Volume sel (Å ³)	=	$1105,262085 \pm 0,670387$		
Densitas (gr/cm ³)	=	79,833		
Berat molekul	=	53160,961		
Molar Percentage Of Phases	=	0,09 ± 0,01		
Weight Percentage Of Phases	=	$2,41 \pm 0,28$		
PHASE 3	(Bi 4V	1,5Ti0,5O10,85) Tetragonal		
Parameter kisi (Å)	:	$a = 3,918842 \pm 0,000476$		
		$b = 3,918842 \pm 0,000476$		
		$c = 15,554217 \pm 0,002291$		
Volume sel (Å ³)	=	238,871155 ± 0,054020		
Densitas (gr/cm ³)	=	23,614		
Berat molekul	=	3398,400		
Molar Percentage Of Phases	=	$2,12 \pm 0,02$		
Weight Percentage Of Phases	=	3,23 ± 0,26		
PHASE 4 (MgTi ₂ O ₅) Orthorombik				

Parameter ksi		$a = 9,746400 \pm 0,000336$
		b = 10,07091 ± 0,000316
		$c = 3,719800 \pm 0,001191$
Volume sel (Å ³)	=	365,117035 ± 0,054020
Densitas (gr/cm ³)	=	3,886
Berat molekul	=	854,881
Molar Percentage Of Phases	=	9,31 ± 0,02
Weight Percentage Of Phases	=	3,88 ± 0,26
Parameter Kecocokan		
GOF		3,124
Rp		9,72
Rwp		12,67
Rexp		7,48
R-Bragg Factor 1		4,19
R-Bragg Factor 2		7,45
R-Bragg Factor 3		7,10
R-Bragg Factor 4		6,25



e. Sampel 0,9MZT-0,05V2O5-0,05Bi2O3 950°C 4 jam

PHASE 1	(MgTiO ₃) Trigonal
Sampel	:	$0,9MZT-0,05V_{2}O_{5}-0,05Bi_{2}O_{3}$
Metode	:	Normal
Parameter kisi (Å)	:	$a = 5,058087 \pm 0,000263$
		$b = 5,058087 \pm 0,000263$
		$c = 13,90696 \pm 0,000808$
Volume sel (Å ³)	=	$308,131165 \pm 0,028885$
Densitas (gr/cm ³)	=	4,151
Berat molekul	=	770,530
Molar Percentage Of Phases	=	85,11 ± 2,17
PHASE 2	(BiVO4) Monoclinic
Parameter kisi (Å)	:	$a = 5,179766 \pm 0,000926$
		$b = 5,111335 \pm 0,001011$
		$c = 11,71355 \pm 0,001904$
Volume sel (Å ³)	=	310,119354 ± 0,096815
Densitas (gr/cm ³)	=	7,254

Berat molekul	=	1355,281
Molar Percentage Of Phases	=	3,65±0,14
PHASE 3	(MgTi ₂ O ₅) Orthorombik
Parameter kisi (Å)	:	$a = 9,757467 \pm 0,012433$
		$b = 10,06551 \pm 0,000234$
		$c = 3,719458 \pm 0,003122$
Volume sel (Å ³)	=	365,302490 ± 0,930401
Densitas (gr/cm ³)	=	3,863
Berat molekul	=	850,248
Molar Percentage Of Phases	=	$11,24 \pm 1,40$
Parameter Kecocoka	n	
GOF	=	2,703
Rp	=	9,71
Rwp	=	12,89
Rexp	=	7,84
R-Bragg Factor 1	=	4,77
R-Bragg Factor 2	=	5,97
R-Bragg Factor 3	=	2,80



f. Sampel 0,9MZT-0,07V2O5-0,03Bi2O3 950°C 4 jam

PHASE 1	(MZT) Trigonal
Sampel	:	$0,9MZT - 0,07V_2O_5 - 0,03Bi_2O_3$
Metode	:	Normal
Parameter kisi (Å)	:	$a = 5,05840 \pm 0,000234$
		$b = 5,05840 \pm 0,000234$
		$c = 13,90790 \pm 0,000704$
Volume sel (Å ³)	=	308,189972 ± 0,025518
Densitas (gr/cm ³)	=	4,150
Berat molekul	=	770.530
Molar Percentage Of Phases	=	76,33 ± 0,98
Weight Percentage Of Phases	=	77.89 ± 1.82
PHASE 2	(BiVO4) Monoclinic
Parameter kisi (Å)	:	$a = 5,160511 \pm 0,001544$
		$b = 5,100910 \pm 0,002871$
		$c = 11,702155 \pm 0,004831$
Volume sel (Å ³)	=	308,037323 ± 0,233928

	-			
Densitas (gr/cm ³)	=	6,982		
Berat molekul	=	1295,680		
Molar Percentage Of Phases	=	0,84± 0,05		
Weight Percentage Of Phases	=	6.66 ± 0.43		
PHASE 3	(MgTi ₂ O ₅) Orthorombik		
Parameter kisi (Å)	:	$a = 9,754000 \pm 0,003169$		
		$b = 10,026200 \pm 0,002367$		
		$c = 3,738900 \pm 0,001377$		
Volume sel (Å ³)	=	365,647797 ± 0,198279		
Densitas (gr/cm ³)	=	4,067		
Berat molekul	=	896,000		
Molar Percentage Of Phases	=	22,83 ± 0,18		
Weight Percentage Of Phases	=	15.45 ± 0.55		
Parameter Kecocoka	n			
GOF	=	3,123		
Rp	=	11,329		
Rwp	=	14,821		
Rexp	=	8,39		
R-Bragg Factor 1	=	4,19		
R-Bragg Factor 2	=	7,50		
R-Bragg Factor 3	=	8,22		

LAMPIRAN D HASIL PERHITUNGAN DENSITAS

• Contoh perhitungan densitas geometri : Variasi 0,9 MZT-0,03 V₂O₅-0,07 Bi₂O₃

Diketahui

d = 11,65 mm = 1,165 cm

t = 2,04 mm = 0,204 cm

m kering = 0,6009 gram

Dicari volume pellet

 $v = \pi r^{2}t$ v = (3,14) (0,528)² (0,106) v = 0,0923 cm³

Dimasukkan dalam rumus densitas geometri

$$D.geo = \frac{m \ kering}{v}$$
$$D.geo = \frac{0,386}{0.0923}$$
$$D.geo = 4,183 \ cm^{3}$$

Contoh perhitungan densitas Archimedes

Variasi 0,9 MZT-0,03 V2O5-0,07 Bi2O3

Diketahui

= 0,386
= 0,387
= 0,299

Ditanya

Densitas Archimedes

Penyelesaian

D. Archi =
$$\frac{m \ kering}{m \ basah - m \ air}$$
$$= \frac{0,386}{0,387 - 0,299}$$
$$= \frac{0,386}{0,088}$$
$$= 4,421$$

• Contoh perhitungan relatif

Variasi 0,9 MZT-0,03 V2O5-0,07 Bi2O3

Diketahui

- D. teori MZT = 4,15
- D. teori $V_2O_5 = 3,36$
- D. teori $Bi_2O_3 = 8,9$
- D. archi = 4,421

Ditanya

D. relative

Penyelesaian

84

D. teori total = (D.teori MZT x 0,9) + (D. teori $V_2O_5 x 0,03)$ + ((D. teori Bi₂O₃ x 0,07) = (4,15 x 0,9) + (3,36 x 0,03) + (8,9 x 0,07) = 4,458 D. relative = $\frac{D. \ archimedes}{D. \ teori \ total}$ x 100% = $\frac{4,421}{4,458}$ x 100%

= 99,16%

Tabel 12. Perhitungar	densitas	untuk	semua	variasi	komposisi
-----------------------	----------	-------	-------	---------	-----------

Variasi komposisi	d (mm)	t (mm)	m kering (gr)	m basah (gr)	m air (gr)	D. geo (gr/cc)	D. archi	D. relative (%)
0,9 MZT-0,03 V2O5-0,07 Bi2O3	10,56	1,06	0,386	0,387	0,299	4,16	4,421	99,16
0,9 MZT-0,05 V2O5-0,05 Bi2O3	10,78	1,022	0,363	0,366	0,279	3,894	4,169	95,9
0,9 MZT-0,07 V2O5-0,03 Bi2O3	10,79	1,174	0,389	0,393	0,295	3,624	3,943	93,07

LAMPIRAN E UJI LISTRIK

Contoh perhitungan uji listrik pada frekueni 0,1 Hz - 32 MHz Variasi 0,9 MZT-0,03 V $_2O_5$ -0,07 Bi $_2O_3$

Data yang didapatkan dari pengukuran dielektrik menggunakan solatron adalah frekuensi, permitivitas relative (ϵ_r), dan tan δ .

Diketahui

Frekuensi	= 32 MHz
Permitivitas relativ	$e(\epsilon_{\rm r}) = 30,548$
Tan δ	= -8.12E-02

Ditanya

Log (Qxf)

 $Log \, \sigma_{AC}$

Penyelesaian

Log (Qxf) = Log
$$(\frac{1}{\tan \delta} x f)$$

= Log $(-1,23E+01 \times 32000000)$
= tak terdefinisi
 σ_{AC} = ε_{r} . tan δ . ε_{0} . ω
= ε_{r} . tan δ . ε_{0} . $2 \pi f$
= 30,548. -8,12E-02. 8,85E-12. 2. 3,14 . 32E06
= -4,41E-03
Log σ_{AC} = Log (-4,41E-03)

```
= tak terdefinisi
```

Contoh perhitungan uji listrik pada frekuensi 8 GHz - 12 GHz

Variasi 0,9 MZT-0,03 V2O5-0,07 Bi2O3

Diketahui

Frekuensi	= 8 GHz
β	= 0,3
S ₁₁ sampel	= -2.05E + 00
S ₂₁ sampel	= -6.64E + 00
S ₁₁ udara	= -2.42E + 00
S ₂₁ udara	= -4.27E + 00
a	= 0.02286
∮ udara	= 2.077338
φ sampel	= 0.704333
ds	= 0,002

Ditanya

Permitivitas (ε') Tan δ Log (Qxf)

Penyelesaian

• Frek center =
$$\frac{\text{frek awal+frek akhir}}{2}$$

= $\frac{8 \text{ GHz} + 12 \text{ GHz}}{2}$
= 10 GHz

•
$$A = (\frac{f}{f \ center})^{\beta}$$

$$=\frac{8}{10}^{0,3}$$
$$= 0.935248$$

•
$$|(S11)^2 \text{ sampel}| = 4.19\text{E}+00$$

•
$$|(S11)^2 \text{ sampel}| = 4.41\text{E}+01$$

• $|(S21)^2 \text{ sampel}| = 4.41\text{E}+01$

- $|(S11)^2 udara| = 5.87E+00$ $|(S21)^2 udara| = 1.83E+01$

•
$$\boldsymbol{\alpha}_{s} = -1,15129254 [\log_{10}(|S_{11}^{sampel}|^{2} + (|S_{21}^{sampel}|^{2}) - \log_{10}(|S_{11}^{udara}|^{2} + (|S_{21}^{udara}|^{2})]^{2}$$

$$= -1,15129254$$
. $[(log_{10}(4.19E+00)^2 + (4.41E+01)^2) - ($

 \log_{10}

$$(5.87E+00)^2 + (1.83E+01)^2)$$
]
= -1,15129254 . 0.301693471
= -0.34734

•
$$K_0 = \frac{2\pi f}{c}$$

= $\frac{2.3,14.8000000000}{3.100000000}$

$$= 1,68E+02$$

•
$$K_0^2 = 28112,41$$

• $Z = \sqrt{K_0^2 - (\frac{\pi}{a})^2} + \left| \frac{\Phi \text{sampel} - \Phi \text{udara}}{ds} \right|$

$$=\sqrt{28112,41 - 18867,17} + \frac{0.704333 - 2.077338}{0,002}$$

= 782,6542065

•
$$Z^2$$
 = 612547,6069
• $\varepsilon_{r'}$ = $\frac{A}{K_0^2} \{ Z^2 + (\frac{\pi}{a})^2 - \alpha_s \}$
= $\frac{0.935248}{28112.41} \{ 612547,6069 + 18867,17 - (0.34734) \}$

= 21.00601

•
$$\varepsilon_{\rm r}$$
, $=\frac{2.A.\alpha_{\rm s}}{K_0^2}$. Z
= $\frac{2.0.935248.(-0.34734)}{28112.41}$. 782,6542065

$$= -0,01809$$

•
$$\varepsilon_{\rm r} = \sqrt{(\varepsilon_r')^2 + (\varepsilon_r'')^2}$$

= $\sqrt{21.00601^2 + (-0.01809)^2}$
= 21.007

• Tan
$$\delta = \frac{\epsilon r''}{\epsilon r'}$$

= $\frac{-0.01809}{21.00601}$

• Log (Qxf) = log
$$(\frac{1}{\tan \delta} x f)$$

= log $(\frac{1}{-0.00086107} x 800000000)$

= tak terdefinisi

•
$$\text{Log } \sigma_{\text{AC}} = \text{Log } (\epsilon_{\text{r}}. \tan \delta. \epsilon_{0.} \omega)$$

= $\text{Log } (\epsilon_{\text{r}}. \tan \delta. \epsilon_{0.} 2 \pi \text{ f })$
= $\text{Log } \{(21,007)(-8,6.10^{-4})(8,85.10^{-12})(2.3,14.8.10^{-12})\}$
= Tak terdefinisi

BIODATA PENULIS



Hilda Avianti. Lahir di Surabaya, 26 Juli 1997, pertama dari tiga anak bersaudara dari pasangan M. Ilham dan Hemi Triana. Penulis menempuh pendidikan formal di TK Muslimat NU (2000-2002), MI Nur Rohman Sambibulu (2002-2008).SMPN 2 (2008-2011),Sukodono SMAN 1 Taman (2011-2014) kemudian penulis Perguruan diterima di Tinggi ITS Departement

Fisika jalur SNMPTN. Penulis aktif dalam UKM TDC ITS dan menjabat sebagai staff (2014-2015). Selain itu penulis juga aktif dalam Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas FIA ITS) menjabat sebagai ITS (BEMF kepala Divisi Departemen Perekonomian Entrepreneur (2015-2016).Penulis merupakan asisten dosen pada mata kuliah Fisika Dasar I (2016-2017). Penulis merupakan asisten laboratorium Fisika Modern dan Gelombang (2016-2017). Penulis mengharapkan kritik dan saran mengenai tugas akhir ini melalui email hildaavianti768@yahoo.com.