

Sintesis Ferroelektrik $BaZr_xTi_{1-x}O_3$ dengan Variasi Zirkonium Terhadap Struktur Kristal dan Konstanta Dielektrik

Yunita Subarwanti^{(1,a)*} dan Erni Mariana^(1,b)

⁽¹⁾Jurusan Teknik Elektro, Universitas Nahdlatul Ulama Lampung, Lampung Timur, 34192

⁽²⁾Jurusan Teknologi Hasil Perikanan, Universitas Nahdlatul Ulama Lampung, Lampung Timur, 34192

Email : ^(a*)yunita_subarwanti@yahoo.com, ^(b)marianaerni558@gmail.com

Diterima (06 Desember 2020), Direvisi (21 Januari 2021)

Abstract. This study aims to determine influence addition Zr against the crystal structure and dielectric constant; and to know the influence of variations temperature sintering on addition mole Zr. Barium Zirconium Titanate ($BaZr_xTi_{1-x}O_3$) have been made with variation zirconium (Zr) 1%, 5%, 10%, and 20% by solid state reaction method, that is blanded $BaTiO_3$, TiO_2 and ZrO_2 powder. $BaZr_xTi_{1-x}O_3$ powder is printed with die pressing and press hidrolik, then the samples were sintered by furnace at $900^\circ C$ and $1000^\circ C$ with holding time 2 hours. Characterization of samples use X-Ray Diffraction and Resistance Capacitance Inductance (RCL meter). Based on result obtained, the larger Zr content cause dielectric constant decreasing because crystal structure have been change from tetragonal (Zr = 1% and 5%) to cubic (Zr = 10% and 20%). The result from X-Ray Diffraction already match with data base ICDD no#360019. Measurement of dielectric constant (K) performed in the frequency range 1 kHz to 100 kHz and the highest value at Zr content 1%, because The dielectric constant decreasing with the larger Zr content. The maximum dielectric constant is obtained at mol Zr 5% and sintering temperature $1000^\circ C$, that is 150. The minimum dielectric constant is obtained at mol Zr 20% and sintering temperature $900^\circ C$, that is 62.

Keywords: Barium Zirconium Titanate, Ferroelectric, Dielectric Constant.

Abstrak. Tujuan pada penelitian ini adalah untuk menentukan pengaruh penambahan mol Zr terhadap struktur struktur kristal dan konstanta dielektrik; dan untuk mengetahui pengaruh variasi suhu sintering terhadap penambahan jumlah mol Zr. Barium Zirkonium Titanat ($BaZr_xTi_{1-x}O_3$) telah disintesis dengan variasi zirkonium (Zr) 1%, 5%, 10%, dan 20% menggunakan metode padatan, yaitu menggerus serbuk $BaTiO_3$, TiO_2 dan ZrO_2 . Serbuk $BaZr_xTi_{1-x}O_3$ dicetak dengan die pressing dan press hidrolik, kemudian sample – sample disinterring pada suhu $900^\circ C$ dan $1000^\circ C$ ditahan selama dua jam. Karakterisasi sampel menggunakan X-Ray Diffraction dan RCL Meter. Berdasarkan hasil yang diperoleh, semakin besar mol Zr menyebabkan konstanta dielektrik menurun karena struktur kristal telah berubah dari tetragonal (Zr = 1% dan 5%) ke kubik (Zr = 10% dan 20%). Hasil dari X-Ray Diffraction telah dicocokkan dengan data base ICDD no#360019. Sedangkan pengukuran konstanta dielektrik (K) dilakukan pada frekuensi antara 1 kHz sampai 100 kHz dan nilai terbesar pada mol Zr 1%, karena konstanta dielektrik menurun dengan bertambahnya mol Zr. Konstanta dielektrik maksimum diperoleh pada mol Zr 5% dan suhu sintering $1000^\circ C$, yaitu 150. Konstanta dielektrik minimum diperoleh pada mol Zr 20% dan suhu sintering $900^\circ C$, yaitu 62.

Kata kunci: Barium Zirkonium Titanat, Ferroelektrik, Konstanta Dielektrik.

PENDAHULUAN

Material ferroelektrik merupakan kelompok material dielektrik yang menunjukkan polarisasi spontan. Polarisasi

spontan tersebut dihasilkan karena adanya interaksi antara dipol yang saling berdekatan dan sejajar satu dengan yang lainnya, semuanya diarah yang sama [1].

Selain polarisasi spontan, material ferroelektrik juga memiliki sifat khusus, yaitu konstanta dielektrik yang tinggi, piroelektrik dan pizelektrik [2, 3]. Karena keunikan sifat material ferroelektrik tersebut, banyak penelitian yang dilakukan untuk memperoleh konstanta dielektrik yang besar dengan bahan yang lebih sederhana dan aman. Material ferroelektrik dapat diaplikasikan dalam bentuk *devices*. Salah satu contohnya dapat diaplikasikan dalam teknologi memori karena memiliki konstanta dielektrik yang tinggi, misalnya *Dynamic Random Access Memory* (DRAM) dan *Ferroelectric Random Access Memories* (FRAM) [3]. Material dasar yang sering digunakan untuk membuat ferroelektrik adalah Barium Titanat (BaTiO_3) yang memiliki struktur perovskit ABO_3 . Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mendapatkan sifat yang lebih baik, misalnya dengan memberikan doping atau penambahan jumlah mol suatu atom. Doping yang sering digunakan adalah Pb, Zr, Sr, Ca, dan Sn [4]. Ketika BaTiO_3 ditambahkan dengan cara mensubstitusi Ti dengan kation Zr, *loss* dielektrik yang terjadi lebih rendah dan dapat digunakan sebagai alternatif pada aplikasi *tunable devices*, karena Zr secara kimiawi lebih stabil daripada Ti. Substitusi bagian dari Zr pada Ti akan meningkatkan kestabilan kimia pada material ferroelektrik [5]. Kestabilan kimia akan meningkatkan konstanta dielektrik sehingga kapasitansi muatan meningkat dan dapat menyimpan muatan lebih banyak [6].

Material ferroelektrik dapat dibuat dengan berbagai macam metode, yaitu reaksi padatan (*solid state reaction*), *sol-gel method* [7], *Pulsed Laser Deposition* (PLD), *Metal Organic Chemical Vapor Deposition* (MOCVD), *Chemical Solution Deposition* (CSD) [8], *sputtering* [9]. Penelitian mengenai $\text{BaZr}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$ dengan $x = 0,15$ diperoleh parameter kisi pada suhu 800°C adalah $a = b = 3,957$ dan $c = 4,098$

sedangkan pada suhu 900°C $a = b = 4,008$ dan $c = 4,030$. Ukuran kristal diperoleh pada suhu 800°C sebesar 15 nm, sedangkan pada suhu $900^\circ\text{C} = 21$ nm [10]. Sedangkan penelitian lain, dengan $x = 0,2$ diperoleh parameter kisi mengalami sedikit perubahan pada variasi jumlah lapisan dari parameter kisi awal yaitu $a = b = 3,998$ dan $c = 4,052$ [11].

Penelitian yang telah dilakukan adalah penelitian yang dilakukan oleh Iriani dkk (2010) dengan judul “*Analisis Struktur Kristal Lapisan Tipis Dengan Metode Sol – Gel*” [11]. Penelitian tersebut diterbitkan pada Jurnal Sains Materi Indonesia (Vol. 13, No. 1). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dengan metode *sol – gel* material ferroelektrik $\text{BaZr}_{0,2}\text{Ti}_{0,8}\text{O}_3$ (BZT) berhasil disintesis berdasarkan karakterisasi XRD. Hasil XRD tersebut menunjukkan puncak – puncak yang diperoleh merupakan puncak BZT.

Pada tahun 2014 Jha *et.al* melakukan penelitian yang berjudul “*Effect of Holmium Substitution on Structural and Electrical Properties of Barium Zirconate Titanate Ferroelectric Ceramics*” [5] yang dipublikasikan dalam jurnal *Ceramics International* (Vol. 40). Penelitian tersebut dilakukan untuk mengetahui pengaruh Zr yang disubstitusi ke atom Ti, hasil penelitian menunjukkan bahwa substitusi atom Zr dapat meningkatkan kestabilan kimia pada material ferroelektrik.

Selain itu, terdapat penelitian material ferroelektrik BZT dengan doping Strontium (Sr) pada tahun 2014 oleh Iriani dkk berjudul “*Deposition of $\text{BaZr}_{0,1}\text{Ti}_{0,9}\text{O}_3$ Thin Films Doped Strontium by Sol – Gel Method*” [4]. Penelitian tersebut dipublikasikan pada *Advanced Materials Research* (Vol. 911). Penelitian ini mengidentifikasi material ferroelektrik yang disubstitusi menggunakan Zr dan didoping menggunakan Sr dengan metode *sol – gel* untuk mendapatkan hasil dari konstanta dielektrik yang lebih stabil dan tinggi.

Penelitian dengan metode yang berbeda dilakukan oleh Kurniawan dkk (2015) yang berjudul “*Development and Application of Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ (BST) Thin Film as Temperature Sensor for Satellite Technology*” [8]. Penelitian tersebut dipublikasikan pada *Procedia Environmental Sciences* (Vol. 24). Pada penelitian tersebut mengembangkan material ferroelektri sebagai sensor suhu yang dapat digunakan oleh satelit dengan menggunakan metode lapisan tipis. Berdasarkan penelitian tersebut, menunjukkan bahwa material ferroelektrik tidak hanya digunakan sebagai kapasitor maupun memori, tetapi juga dapat digunakan sebagai sensor yang dapat dipakai diluar angkasa.

Selanjutnya penelitian menggunakan metode *solid state reaction* dilakukan oleh Maharsi dkk (2014) dengan judul “*Karakterisasi dan Konstanta Dielektrik Ba_{0,9}Sr_{0,1}TiO₃ Yang Dibuat Dengan Metode Solid State Reaction*” [12]. Penelitian ini dipublikasikan pada *Jurnal Fisika Indonesia* (Vol. XVIII, No. 52). Penelitian ini dilakukan menggunakan metode yang lebih sederhana dan menghasilkan material ferroelektrik yang memiliki konstanta dielektrik yang cukup tinggi. Tetapi kelemahan metode ini, suhu sintering yang digunakan harus tinggi jika proses penggerusan kurang maksimal.

Berdasarkan penelitian – penelitian sebelumnya, penelitian ini akan mensintesis BaZr_xTi_{1-x}O₃ dengan variasi penambahan jumlah mol Zr sebesar 1%, 5%, 10%, dan 20% pada suhu 900°C dan 1000°C dengan waktu tahan selama 2 jam. BaZr_xTi_{1-x}O₃ dibuat menggunakan metode *solid state reaction*. Metode ini relatif lebih mudah dan sederhana dengan cara mencampurkan semua bahan dasar yang berupa bubuk kemudian dipres. Kekurangan metode ini adalah besarnya ukuran partikel, sehingga perlu dilakukan penggerusan lebih lama untuk memperoleh partikel yang lebih kecil

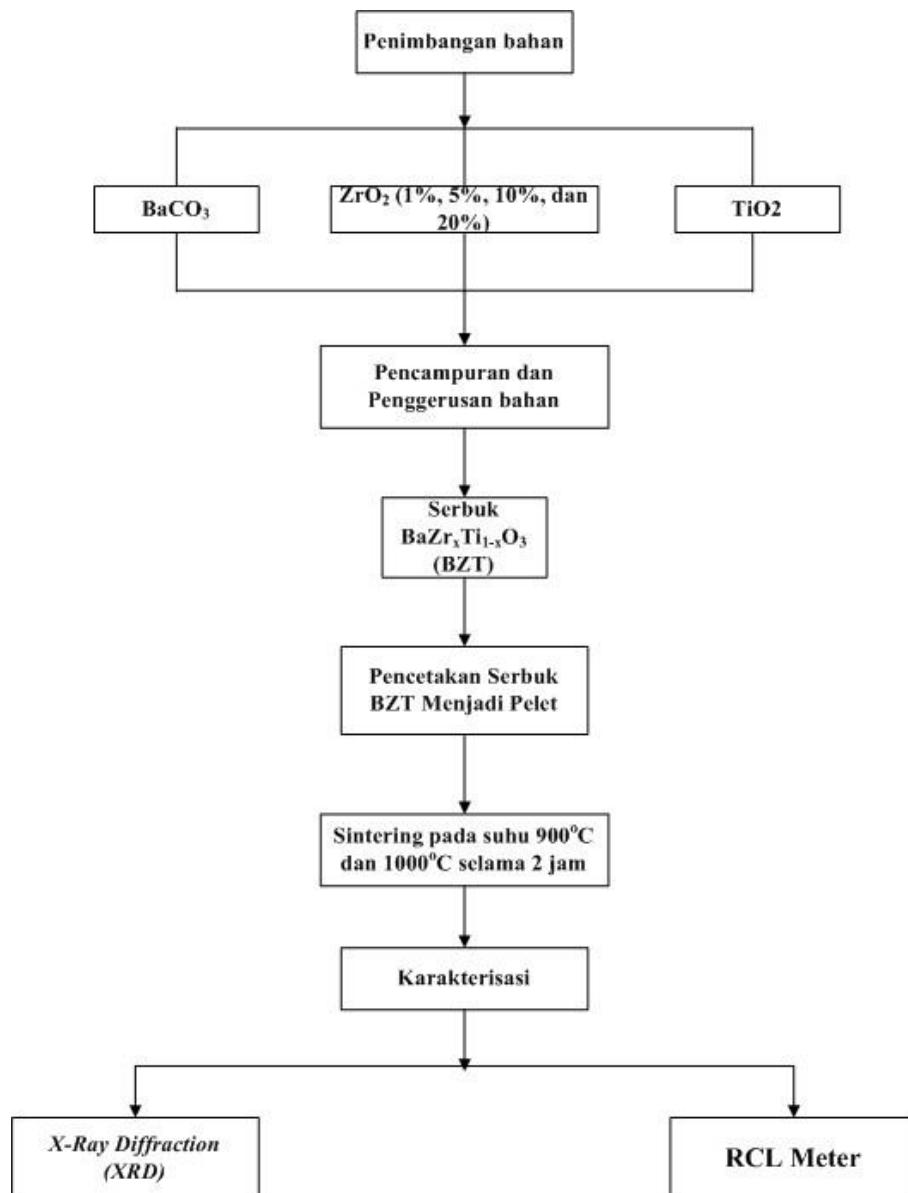
dan homogen [12]. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi penambahan jumlah mol Zr terhadap struktur kristal dan konstanta dielektrik pada material BaZr_xTi_{1-x}O₃ dan untuk mengetahui pengaruh suhu sintering yang berbeda pada penambahan jumlah mol Zr.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan berdasarkan permasalahan dan tujuan yang telah dijabarkan di atas. Metode penelitian yang digunakan adalah *solid state reaction* dengan suhu sintering 900°C dan 1000°C selama 2 jam. Alur penelitian ditunjukkan **Gambar 1**.

Langkah pertama yang dilakukan adalah menghitung massa masing – masing bahan dasar kemudian dilakukan penimbangan. Bahan dasar yang digunakan adalah BaCO₃, ZrO₂ (1%, 5%, 10%, dan 20 %) dan TiO₂. Setelah ketiga bahan ditimbang, bahan dasar tersebut dicampur dengan cara digerus selama 12 jam menggunakan mortar. Serbuk yang telah tercampur kemudian dicetak menggunakan *die pressing* dengan kuat tekan 10 ton. Kemudian sampel – sampel tersebut disintering pada suhu 900°C dan 1000°C dengan waktu tahan 2 jam.

Sampel yang telah disinterring kemudian dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* dan RCL Meter. Hasil karakterisasi *X-Ray Diffraction* adalah pola difraksi berupa puncak – puncak difraksi yang akan dicocokkan dengan *data base ICDD*. Selain itu, hasil *X-Ray Diffraction* dapat digunakan untuk mengetahui parameter kisi dan ukuran kristal (padatan yang tersusun dari partikel – partikel secara teratur). Sedangkan karakterisasi menggunakan RCL Meter untuk mengetahui besarnya konstanta dielektrik dengan rentang frekuensi 1 kHz – 100 kHz. Semua tahapan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 1**.

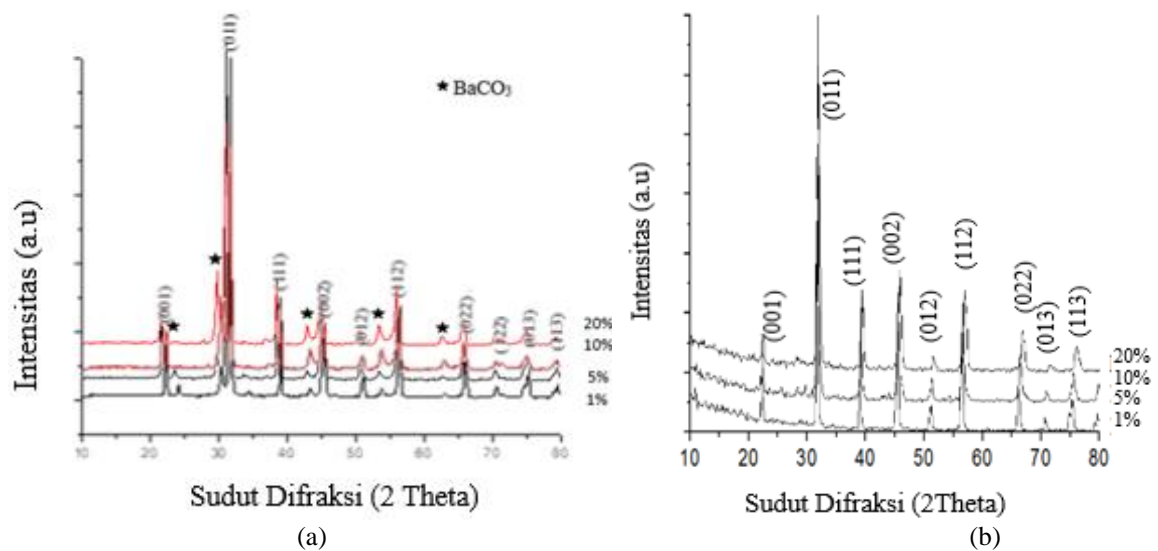


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Material Material ferroelektrik BaZr_xTi_{1-x}O₃ (x = 1%, 5%, 10%, dan 20%) yang telah diperoleh dikarakterisasi menggunakan XRD yang ditunjukkan pada grafik hubungan antara sudut difraksi dan intensitas. Hasil karakterisasi XRD juga digunakan untuk mengetahui ukuran kristal, parameter kisi dan struktur kristal. **Gambar 2** menunjukkan pola difraksi yang terbentuk dari BaZr_xTi_{1-x}O₃ (x = 1%, 5%, 10%, dan

20%) dengan suhu sintering 900°C dan 100°C. Terdapat 10 puncak difraksi yang telah dicocokkan dengan *data base* ICDD no#360019 dan menunjukkan bahwa puncak-puncak tersebut merupakan puncak BaZr_xTi_{1-x}O₃. Selain puncak BZT, terdapat puncak yang bukan merupakan puncak BaZr_xTi_{1-x}O₃. Hal ini dikarenakan pada saat pencampuran bahan kurang homogen, sehingga masih terdapat impuritas.



Gambar 2. Pola Difraksi BaZrTiO₃ (a) Pada Suhu 900°C dan (b) Pada Suhu 1000°C

Pada **Gambar 2**, terdapat hasil XRD dari sampel yang disintering menggunakan suhu 900°C dan 1000°C. Sampel yang disintering pada suhu 900°C masih terdapat impuritas berupa Barium Carbonat yang ditandai dengan bintang. Sampel yang disintering dengan suhu 1000°C, tidak memiliki impuritas. Pada **Gambar 2 b**, puncak difraksi yang terbentuk adalah puncak difraksi BaZr_xTi_{1-x}O₃ tanpa puncak impuritas. Berdasarkan hal tersebut, terlihat jelas bahwa sintering pada suhu 900°C masih memiliki impuritas yang banyak. Sedangkan pada suhu 1000°C sudah tidak ada impuritas pada semua sampel hal tersebut menunjukkan bahwa pada suhu 900°C pembentukan struktur kristal BaZrTiO₃ belum sempurna sehingga masih ada unsur Barium Carbonat yang masih tertinggal menjadi impuritas.

Hasil *X-Ray Diffraction* juga dapat digunakan untuk menentukan parameter kisi (jarak antar unit sel) dan ukuran kristal partikel dari setiap sampel. Hasil parameter kisi pada setiap sampel dapat dilihat pada **Tabel 1** yang menunjukkan bahwa semakin besar persentase Zr yang diberikan, maka parameter kisi semakin kecil. Hal tersebut disebabkan jari-jari Zr lebih besar dari pada

jari-jari Ti, sehingga jarak antar atom menjadi berdekatan. Parameter kisi mempengaruhi ukuran kristal yang terbentuk pada material BaZr_xTi_{1-x}O₃. Semakin kecil parameter kisi, maka ukuran kristal yang terbentuk semakin kecil. Sedangkan pengaruh suhu sintering terhadap parameter kisi adalah semakin tinggi suhu sintering yang digunakan semakin besar parameter kisi yang terbentuk. Pada sampel dengan persentase 1% dan 5% struktur kristal yang terbentuk adalah tetragonal, dimana struktur kristal tetragonal merupakan struktur kristal material ferroelektrik. Sedangkan sampel dengan persentase 10% dan 20% memiliki struktur kristal kubik. Sampel yang memiliki struktur kristal berbentuk kubik memiliki sifat ferroelektrik yang sangat kecil. Sehingga semakin besar persentase Zr yang diberikan maka terjadi perubahan struktur kristal.

Ukuran kristal yang diperoleh berdasarkan hasil perhitungan *X-Ray Diffraction* dapat dilihat pada **Tabel 2**. Penambahan mol Zr juga mempengaruhi ukuran kristal yang terbentuk pada sampel. Semakin besar persentase mol Zr yang diberikan, ukuran kristalnya semakin kecil.

Tabel 1. Parameter Kisi BaZr_xTi_{1-x}O₃

Variasi Suhu	Zr 1%		Zr 5%		Zr 10%	Zr 20%
	a=b (Å)	c (Å)	a=b (Å)	c (Å)	a=b=c (Å)	a=b=c (Å)
900°C	3,998	4,0306	3,998	4,0326	3,986	3,986
1000°C	3,999	4,0316	3,997	4,0325	3,996	3,985

Tabel 2. Ukuran Kristal Sampel BaZr_xTi_{1-x}O₃

Variasi Suhu	Ukuran Kristal (nm)			
	Zr 1%	Zr 5%	Zr 10%	Zr 20%
900°C	36,12	31,15	31,62	29,60
1000°C	37,2	32,1	31,9	22,4

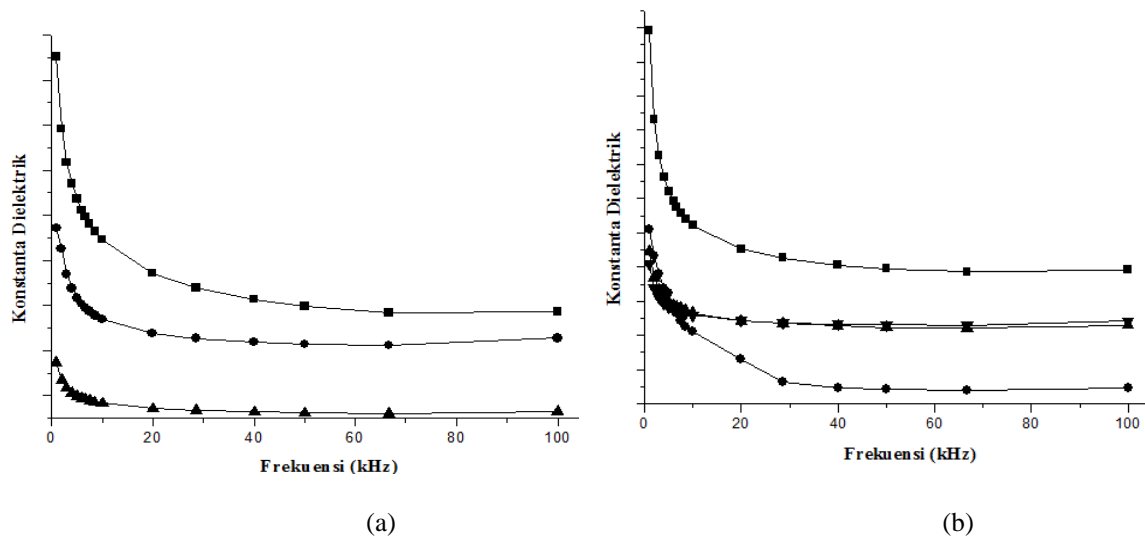
Ukuran kristal yang semakin kecil ini disebabkan oleh penambahan jumlah mol Zr yang semakin banyak. Ukuran kristal ini juga dipengaruhi dari hasil intensitas sampel saat karakterisasi *X-Ray Diffraction*. Semakin tinggi intensitas sampel, maka ukuran kristalnya semakin besar. Dapat kita lihat pada **Gambar 1**, intensitas tertinggi ada pada sampel dengan suhu sintering 1000°C dan pada **Tabel 2** ukuran kristal terbesar ada pada sampel dengan persentase Zr 1% pada suhu 1000°C.

Material ferroelektrik BaZr_xTi_{1-x}O₃ dengan penambahan jumlah mol Zr sebesar 1%, 5%, 10%, dan 20% telah dikarakteristik menggunakan RCL meter. RCL meter pada sampel ini berfungsi untuk mengukur nilai konstanta dielektrik. RCL meter yang digunakan untuk mengkarakterisasi diberi masukan 0,01 kHz sampai 100 kHz. Hasil pengujian RCL meter berupa nilai kapasitansi sampel dan faktor disipasinya. Nilai kapasitansi yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung konstanta dielektrik.

Berdasarkan **Gambar 3**, semakin besar frekuensi masukannya maka konstanta dielektrik yang diperoleh semakin kecil dan hampir konstan. Nilai konstanta dielektrik dengan kapasitas berbanding lurus, sehingga menghasilkan nilai konstanta dielektrik yang semakin kecil jika frekuensinya semakin besar. Nilai konstanta dielektrik minimum diperoleh pada sampel dengan Zr 20% dan nilai konstanta dielektrik maksimum diperoleh pada sampel dengan Zr 5%. Sampel yang menghasilkan konstanta dielektrik tinggi adalah sampel yang menggunakan suhu sintering 1000°C. Sedangkan sampel yang menghasilkan konstanta dielektrik rendah adalah sampel pada suhu sintering 900°C yang ditunjukkan **Tabel 3**. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian sebelumnya yaitu semakin meningkat suhu sintering, maka semakin besar konstanta dielektrik yang dihasilkan. Suhu sintering yang meningkat menghasilkan polarisasi yang besar pada material BaZr_xTi_{1-x}O₃, sehingga meningkatkan konstanta dielektrik [13].

Tabel 3. Konstanta Dielektrik Sampel BaZr_xTi_{1-x}O₃

Variasi Suhu	Konstanta Dielektrik			
	Zr 1%	Zr 5%	Zr 10%	Zr 20%
900°C	105	118	80	62
1000°C	112	150	82	75



Gambar 3. Grafik Konstanta Dielektrik (a) Pada Suhu 1000°C dan (b) Pada Suhu 900°C

Pada **Gambar 3**, terlihat pada **Gambar (a)** yang menghasilkan konstanta dielektrik yang lebih signifikan pada saat penurunan. Hal ini disebabkan, suhu tinggi yang digunakan dalam proses sintering. Pada saat proses sintering, terjadi pembentukan struktur kristal ferroelektrik. Sehingga pada suhu tinggi memiliki konstanta dielektrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel yang disintering dengan suhu rendah. Untuk perbedaan jumlah mol, semakin besar jumlah mol yang digunakan maka, konstanta dielektrik yang dihasilkan menurun. Karena penambahan mol Zr yang terlalu banyak akan merubah struktur kristal. Struktur kristal material ferroelektrik memiliki struktur tetragonal, sedangkan semakin banyak jumlah mol Zr yang diberikan maka struktur kristal akan membesar dan berubah bentuk. Jika struktur kristal berubah, maka sifat ferroelektriknya semakin berkurang.

KESIMPULAN

Material ferroelektrik $BaZr_xTi_{1-x}O_3$ dengan persentase Zr 1%, 5%, 10%, dan 20% telah dibuat menggunakan metode padatan dengan suhu sintering 900°C dan 1000°C selama 2 jam. Hasil yang diperoleh dari pengaruh Zr adalah semakin banyak

jumlah mol Zr yang ditambahkan maka parameter kisi dan ukuran kristal (struktur kristal) semakin kecil. Sedangkan konstanta dielektrik yang dihasilkan semakin besar tetapi ada batas maksimum dai penambahan persentase Zr, yaitu Zr 5% merupakan jumlah paling banyak untuk mempertahankan sifat ferroelektrik. Sampel dengan persentase Zr 10% dan 20% memiliki konstanta dielektrik yang semakin menurun, karena penambahan Zr lebih dari 5% mengubah struktur kristal dari tetragonal menjadi kubik. Struktur kristal kubik adalah struktur kristal yang memiliki sifat ferroelektrik tetapi sangat kecil, sehingga konstanta dielektrik pada Zr 10% dan 20% sangat menurun.

DAFTAR PUSTAKA

[1] W. D. Callister dan D. G. Rethwisch, "Chapter 3: The Structure of Crystalline Solids," *Mater. Sci. Eng. an Introd.*, 2009.

[2] M. Istiqomah, A. Jamaluddin, dan Y. Iriani, "Pembuatan Material Feroelektrik Barium Titanat ($BaTiO_3$) Menggunakan Metode Solid State Reaction (Halaman 59 s.d. 61)," *J. Fis. Indones.*, 2015, doi: 10.22146/jfi.24391.

- [3] K. Rabe, C. Ahn, dan J. Triscone, *Physics of Ferroelectrics*. 2007.
- [4] Y. Iriani, D. F. Saputri, S. Hadiati, A. H. Ramelan, dan V. I. Variani, "Deposition of $\text{BaZr}_{0.10}\text{Ti}_{0.90}\text{O}_3$ thin films doped strontium by sol gel method," 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.91.1.205.
- [5] P. A. Jha dan A. K. Jha, "Effect of Holmium Substitution on Structural and Electrical Properties of Barium Zirconate Titanate Ferroelectric Ceramics," *Ceram. Int.*, 2014, doi: 10.1016/j.ceramint.2013.10.087.
- [6] K. Uchino, "Future of Ferroelectric Devices," *Ferroelectr. Devices 2nd Ed.*, pp. 297–338, 2009, doi: 10.1201/b15852-12.
- [7] S. Fuentes, F. Céspedes, L. Padilla-Campos, dan D. E. Diaz-Droguett, "Chemical and Structural Analysis Related to Defects in Nanocrystalline $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ Grown Via Hydrothermal Sol-Gel", *Ceram. Int.*, 2014, doi: 10.1016/j.ceramint.2013.09.134.
- [8] A. Kurniawan, D. Yosman, A. Arif, J. Juansah, dan Irzaman, "Development and Application of $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$ (BST) Thin Film as Temperature Sensor for Satellite Technology," *Procedia Environ. Sci.*, 2015, doi: 10.1016/j.proenv.
- [9] Z. Xu, D. Yan, D. Xiao, P. Yu, dan J. Zhu, "Dielectric Enhancement of $\text{BaSr}_{1-x}\text{O}_3/\text{BaSr}_{1-1.05x}\text{O}_3/\text{BaSrTiO}_3$ Multi Layer Thin Films Prepared by RF Magnetron Sputtering," *Ceram. Int.*, 2013, doi: 10.1016/j.ceramint.2012.08.006.
- [10] S. Hadiati, A.H. Ramelan, V.I Variani, M. Hikam, B. Soegijono, D.F. Saputri, dan Y. Iriani "Kajian Variasi Temperatur Annealing dan holding time pada Penumbuhan Lapisan Tipis $\text{BaZr}_{0,15}\text{Ti}_{0,85}\text{O}_3$ dengan Metode Sol-Gel," *J. Fis. dan Apl.*, 2014, doi: 10.12962/j24604682.v10i1.823.
- [11] I. Yofentina, I. V Viska, M. Hikam, S. Bambang, dan A. M. W. P, "Analisis Struktur Kristal Lapisan Tipis Dengan Metode Sol Gel," pp. 65–68, 2010.
- [12] R. Maharsi, A. Jamaludin, and Y. Iriani, "Karakterisasi Kekristalan dan Konstanta Dielektrik $\text{Ba}_{0,9}\text{Sr}_{0,1}\text{TiO}_3$ yang Dibuat dengan Metode Solid State Reaction (Halaman 13 s.d. 15)," *J. Fis. Indones.*, vol. 18, no. 52, pp. 13–15, 2015, doi: 10.22146/jfi.24397.
- [13] P. A. Jha and A. K. Jha, "Influence of Processing Conditions on the Grain Growth and Electrical Properties of Barium Zircobate Titanate Ferroelectric Ceramics," *J. Alloys and Compounds.*, 2012, doi: 10.1016/j.ceramint.2013.10.087.2015.03.044