

Sintesis dan Karakterisasi Sifat Optik Material Feroelektrik Barium Zirkonium Titanat ($\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$) dengan Variasi Suhu Kalsinasi

Johansah Liman^{(1,a)*}, Budi Harsono^(1,b) dan Iwan Aang Soenandi^(2,c)

⁽¹⁾Program Studi Teknik Elektro, Universitas Kristen Krida Wacana, Jakarta, Indonesia, 11470

⁽²⁾Program Studi Teknik Industri, Universitas Kristen Krida Wacana, Jakarta, Indonesia, 11470

Email : ^(a*)johansah@ukrida.ac.id, ^(b)budi.harsono@ukrida.ac.id, ^(c)iwan.as@ukrida.ac.id

Diterima (11 Juli 2022), Direvisi (19 Desember 2022)

Abstract. In this study, a thin film of ferroelectric material Barium Zirconium Titanate ($\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$) was synthesized and the effect of variations in annealing temperature on its optical properties was studied. $\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$ thin films were grown by Chemical Solution Deposition (CSD) method on a Silicon, Si (100) substrate. The thin films found are then annealed at three different temperatures of 750, 800 and 850 °C. Optical properties of the thin films was carried out using the Ocean Optics USB4000 Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Spectrometer. The characterization results show that the $\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$ thin films have high reflectance at visible light and high absorbance coefficient values at ultraviolet (UV) light. Bandgap values for each $\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$ thin film with annealing temperatures of 750, 800 and 850 °C were 3.04 eV, 3.07 eV and 3.22 eV respectively. The higher the annealing temperature, the higher the bandgap value of the thin film. Based on that results, this $\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$ thin film can be classified as semiconductor and has the potential to be used as a sensor or electronic component that works by utilizing energy at the wavelength of ultraviolet light.

Keywords: thin films, BZT, annealing temperature, optical properties, bandgap.

Abstrak. Dalam penelitian ini, film tipis material feroelektrik Barium Zirkonium Titanat ($\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$) disintesis dan pengaruh variasi suhu kalsinasi terhadap sifat optiknya dipelajari. Film tipis $\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$ ditumbuhkan menggunakan metode *Chemical Solution Deposition* (CSD) di atas substrat Silikon, Si (100). Film tipis yang telah dibuat kemudian dikalsinasi pada tiga suhu berbeda yaitu 750, 800 dan 850 °C. Sifat optik dari film tipis yang telah dibuat diukur menggunakan Spektrometer *Ultraviolet-Visible* (UV-Vis) Ocean Optics USB4000. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa film tipis $\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$ yang dibuat memiliki reflektansi yang tinggi pada cahaya tampak dan nilai koefisien absorpsi yang tinggi pada cahaya ultraviolet (UV). Nilai bandgap pada masing-masing film tipis $\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$ dengan suhu kalsinasi 750, 800 dan 850 °C adalah 3,04 eV, 3,07 eV dan 3,22 eV. Semakin tinggi suhu kalsinasi maka semakin tinggi nilai *bandgap* yang dihasilkan. Dari hasil tersebut, film tipis $\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$ ini dapat diklasifikasi sebagai semikonduktor dan berpotensi digunakan sebagai sensor atau komponen elektronik yang bekerja memanfaatkan energi pada panjang gelombang cahaya ultraviolet.

Kata kunci: film tipis, BZT, suhu *annealing*, sifat optik, *bandgap*.

PENDAHULUAN

Material feroelektrik merupakan material yang sangat potensial untuk diaplikasikan dalam perangkat elektronik [1,2,3]. Material feroelektrik memiliki nilai dielektrik dan *tunability* yang tinggi sehingga dapat digunakan dalam

Ferroelectric Random Access Memory (FeRAM) dan peralatan *microwave* [4,5,6,7]. Selain itu, material feroelektrik juga memiliki sifat piroelektrik dan piezoelektrik sehingga dapat diaplikasikan sebagai sensor dan aktuator [8,9,10,11].

Salah satu material feroelektrik yang banyak digunakan adalah Barium Titanat (BaTiO_3) [12,13,14]. BaTiO_3 memiliki struktur kristal perovskite ABO_3 [13]. A merupakan logam monovalen dan divalen, B merupakan logam pentavalen atau tetravalen dan O adalah oksigen [15]. Dalam struktur kristal BaTiO_3 , posisi Titanium (Ti) dapat digantikan oleh Zirkonium (Zr) karena ion Zr^{4+} memiliki ukuran yang lebih besar (0,087 nm) dibanding dengan ion Ti^{4+} (0,068 nm) [13,16,17,18]. Dari hasil beberapa penelitian diketahui bahwa substitusi unsur Ti dengan Zr dapat meningkatkan sifat feroelektrik bahan karena Zr memiliki kestabilan yang lebih baik dari Ti [12,17,18,19,20].

Material feroelektrik biasanya diaplikasikan pada perangkat elektronik dalam bentuk film tipis [16]. Terdapat beberapa metode dalam penumbuhan film tipis material feroelektrik antara lain: *Chemical Solution Deposition* (CSD), *Pulsed Laser Deposition* (PLD), *Metal Organic Chemical Vapor Deposition* (MOCVD) dan *sputtering* [12,16,17]. Metode CSD adalah metode penumbuhan film tipis yang dapat dilakukan menggunakan perangkat yang sederhana dan dengan biaya yang murah [21].

Beberapa penelitian mengenai film tipis BZT yang telah dilakukan antara lain: Yunita Subarwanti dkk (2021) melakukan sintesis $\text{BaZr}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$ dengan penambahan mol Zr yang berbeda untuk mengetahui pengaruhnya terhadap struktur kristal dan konstanta dielektrik. Karakterisasi dilakukan menggunakan perangkat *X-Ray Diffraction* (XRD) dan RCL meter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mol Zr yang semakin besar mengakibatkan konstanta dielektrik menurun karena perubahan struktur kristal dari tetragonal menjadi kubik [12].

Y. Iriani dkk (2014) melakukan sintesis lapisan tipis BZT di atas substrat Si untuk mengetahui pengaruh variasi waktu tahan pada saat kalsinasi terhadap struktur mikro

dan morfologi. Karakterisasi dilakukan menggunakan XRD dan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan waktu tahan menyebabkan meningkatnya tingkat kekristalan, menipisnya ketebalan lapisan dan bertambah besarnya ukuran butir [18].

S. Hadiati dkk (2013) melakukan penumbuhan lapisan tipis $\text{BaZr}_{0,15}\text{Ti}_{0,85}\text{O}_3$ di atas substrat Pt/Si dan menganalisis pengaruh variasi suhu kalsinasi dan waktu tahan terhadap struktur kristal lapisan tipis. Variasi suhu kalsinasi yang diberikan adalah 800 dan 900 °C sedangkan variasi waktu tahan yang diberikan adalah 3 dan 4 jam. Karakterisasi struktur kristal dilakukan menggunakan perangkat XRD dan SEM. Hasil analisis menunjukkan bahwa intensitas dan ukuran partikel bertambah seiring dengan bertambahnya waktu tahan, namun intensitas akan mengecil dan ukuran partikel membesar saat suhu kalsinasi dinaikkan [17].

T.S.L. H. Shahab dkk (2021) melakukan karakterisasi XRD pada $\text{BaZr}_{0,4}\text{Ti}_{0,6}\text{O}_3$ yang ditumbuhkan di atas substrat *Fluorine Tin Oxide* (FTO) untuk mengetahui pengaruh laju kalsinasi terhadap struktur film tipis. Kalsinasi dilakukan pada suhu 800 °C selama 2 jam dengan laju kenaikan 5 dan 10 °C. Hasil karakterisasi menunjukkan laju kenaikan suhu yang kecil menghasilkan nilai *Full Width at Half Maximum* yang lebih kecil dan ukuran kristal membesar [15].

Pada penelitian ini lapisan tipis $\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$ ditumbuhkan di atas substrat Si(100) dan diberikan variasi suhu kalsinasi 750, 800 dan 850 °C. Karakterisasi sifat optik dilakukan menggunakan perangkat spektrometer UV-Vis untuk mengetahui pengaruh variasi suhu kalsinasi terhadap sifat optik dari film tipis $\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$.

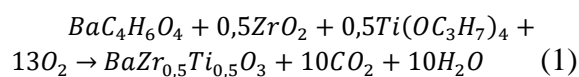
METODE PENELITIAN

Tahapan pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sintesis atau

penumbuhan film tipis $BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O_3$ di atas substrat Si(100). Proses ini dimulai dengan preparasi substrat, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan larutan $BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O_3$, penumbuhan film tipis di atas substrat dan diakhiri dengan proses kalsinasi. Semua tahapan ini dilakukan di laboratorium film tipis UKRIDA.

Proses preparasi substrat dilakukan dengan memotong substrat Si(100) dalam ukuran 1 cm^2 menggunakan pemotong kaca. Substrat yang telah dipotong kemudian dibersihkan menggunakan aseton, metanol dan air deionisasi masing-masing selama 15 menit. Substrat yang telah dibersihkan kemudian dibiarkan kering dan siap digunakan untuk proses selanjutnya.

Proses pembuatan larutan $BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O_3$ dilakukan dengan melarutkan bahan-bahan pembentuk film tipis $BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O_3$ dalam cairan pelarut mengikuti persamaan reaksi pada **Persamaan 1**. Bahan-bahan yang digunakan adalah 1,27708 gr bubuk Barium Asetat ($BaC_4H_6O_4$) dari Sigma-Aldrich (>99%), 0,308057 gr bubuk Zirkonium Oxide (ZrO_2) dari Sigma-Aldrich (>99%) dan 0,4102745 gr bubuk Titanium Isopropoksida ($Ti(OC_3H_7)_4$) dari Sigma-Aldrich (>99%). Semua bahan ditimbang menggunakan timbangan analitik digital KERN ABJ220-4NM buatan Jerman. Bahan-bahan yang telah ditimbang kemudian dilarutkan dalam 2,5 ml pelarut metoksietanol ($C_3H_8O_2$). Larutan yang telah dibuat kemudian digetarkan selama 15 menit menggunakan ultrasonikator JP Selecta buatan Spanyol untuk memperoleh larutan yang homogen.



Proses penumbuhan film tipis $BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O_3$ dilakukan dengan meletakkan substrat Si(100) pada *spin coater*, kemudian larutan $BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O_3$ yang telah homogen diteteskan di atas substrat. Saat *spin coater*

berputar, larutan di atas substrat akan tertarik ke samping oleh gaya sentrifugal, sehingga membentuk lapisan tipis di atas substrat. Semakin cepat putaran *spin coater* maka semakin tipis film yang dihasilkan. Proses ini diulang beberapa kali untuk mendapatkan film tipis yang merata di atas substrat. Dalam penelitian ini kecepatan putar *spin coater* diatur sebesar 3000 rpm dan dilakukan selama 30 detik. Proses ini diulang sebanyak tiga kali dengan jeda waktu antar penetasan larutan selama 1 menit. Dalam penelitian ini dibuat sembilan film tipis $BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O_3$, yang kemudian dibagi menjadi tiga kelompok untuk diberikan suhu kalsinasi yang berbeda.

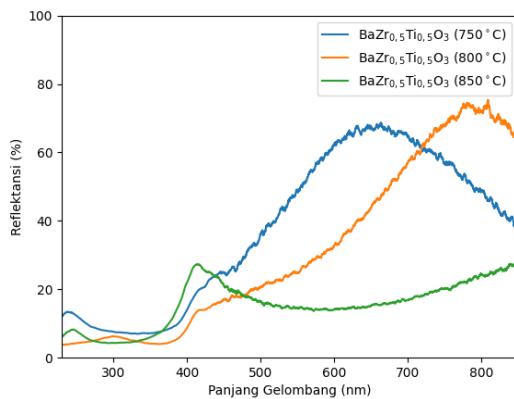
Proses terakhir dalam sintesis film tipis $BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O_3$ adalah kalsinasi. Proses kalsinasi dilakukan menggunakan *muffle furnace* Nabertherm LT3/12 buatan Jerman. Kalsinasi dilakukan sebanyak tiga kali menggunakan suhu yang berbeda, yaitu 750, 800 dan 850 °C untuk masing-masing kelompok film tipis yang telah dibuat. Proses kalsinasi dilakukan untuk menumbuhkan struktur kristal pada film tipis yang dibuat. Dalam penelitian ini, proses kalsinasi dilakukan dengan waktu tahan selama 22 jam dan dengan laju kenaikan suhu sebesar 1,67 °C/menit.

Setelah proses kalsinasi, film tipis $BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O_3$ dikarakterisasi sifat optiknya menggunakan perangkat spektrometer UV-Vis Ocean Optics USB4000. Parameter yang diukur dalam pengujian ini adalah spektrum reflektansi film tipis $BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O_3$ yang telah diberi suhu kalsinasi berbeda. Parameter-parameter lain yang berhubungan dengan sifat optik film tipis $BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O_3$ juga dihitung, meliputi: koefisien absorpsi, indeks bias dan *bandgap* dari film tipis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran spektrum reflektansi ditunjukkan pada **Gambar 1**.

Liman dkk: Sintesis dan Karakterisasi Sifat Optik Material Feroelektrik Barium Zirkonium Titanat ($\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$) dengan Variasi Suhu *Annealing*

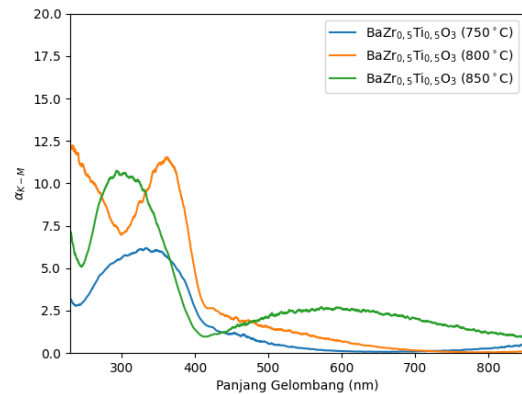


Gambar 1. Spektrum reflektansi $\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$

Spektrum reflektansi diukur dari panjang gelombang 230 nm – 850 nm. Dari spektrum reflektansi yang terukur terlihat bahwa spektrum cahaya yang dipantulkan film tipis $\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$ berada pada rentang cahaya tampak. Pada film tipis $\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$ dengan suhu kalsinasi 750 °C puncak spektrum cahaya yang dipantulkan berada pada panjang gelombang 664 nm (warna merah). Dengan semakin tingginya suhu kalsinasi, puncak spektrum cahaya yang dipantulkan semakin bergeser ke panjang gelombang cahaya infra merah. Hal ini terlihat pada film tipis $\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$ dengan suhu kalsinasi 800 °C di mana puncak spektrum cahaya yang dipantulkan adalah 809 nm (infra merah). Pada film tipis $\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$ dengan suhu kalsinasi 850 °C, puncak spektrum cahaya yang dipantulkan tidak terlihat dalam hasil pengukuran karena berada di panjang gelombang > 850 nm.

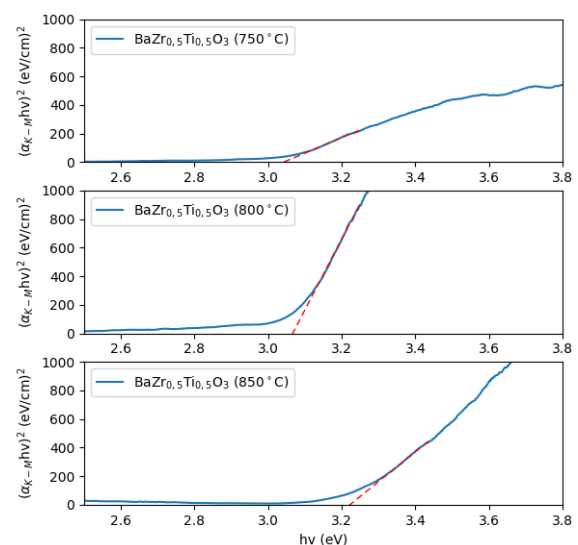
Spektrum koefisien absorptansi film tipis $\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$ kemudian dihitung menggunakan fungsi Kubelka-Munk yang diberikan pada **Persamaan 2**. K dan S adalah koefisien serapan dan koefisien hamburan dari film tipis dan R adalah nilai reflektansi. Spektrum koefisien absorptansi film tipis $\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$ yang diperoleh diperlihatkan pada **Gambar 2**.

$$F(R) = \frac{K}{S} = \frac{(1-R)^2}{2R} \propto \alpha_{K-M} \quad (2)$$



Gambar 2. Spektrum koefisien absorptansi $\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$

Dari spektrum koefisien absorptansi yang diperoleh, terlihat bahwa film tipis $\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$ menyerap cahaya pada panjang gelombang cahaya ultraviolet. Hal ini terlihat pada film tipis $\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$ yang dikalsinasi pada suhu 750 °C memiliki koefisien absorptansi maksimum 6,18 pada panjang gelombang 333 nm, sedangkan film tipis $\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$ yang dikalsinasi pada suhu 800 °C memiliki koefisien absorptansi maksimum 11,5 pada panjang gelombang 361 nm dan film tipis $\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$ yang dikalsinasi pada suhu 850 °C memiliki koefisien absorptansi maksimum 10,6 pada panjang gelombang 302 nm.



Gambar 3. Bandgap film tipis $\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$

Bandgap film tipis BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O₃ kemudian diperoleh menggunakan metode Tauc plot [22]. Formula Tauc diberikan pada **Persamaan 3**, dengan $h\nu$ adalah energi foton (eV), E_g adalah *bandgap* (eV) dan n adalah sifat transisi elektron (= ½ untuk transisi langsung). Hasil perhitungan dari persamaan Tauc diberikan pada **Gambar 3**.

$$(\alpha_{K-M}h\nu)^{1/n} = B(h\nu - E_g) \quad (3)$$

Dari metode Tauc plot diperoleh *bandgap* untuk masing-masing film tipis BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O₃ adalah 3,04 eV untuk film tipis BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O₃ dengan suhu kalsinasi 750 °C, 3,07 eV untuk film tipis BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O₃ dengan suhu kalsinasi 800 °C, dan 3,22 eV untuk film tipis BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O₃ dengan suhu kalsinasi 850 °C. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu kalsinasi maka nilai *bandgap* yang dihasilkan akan semakin tinggi. Selain itu, nilai *bandgap* ini juga menunjukkan bahwa film tipis BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O₃ bersifat sebagai semikonduktor.

Tabel 1 memperlihatkan hubungan antara *bandgap* film tipis BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O₃ dengan spektrum cahaya untuk masing-masing suhu kalsinasi. Dari hasil perhitungan terlihat bahwa masing-masing *bandgap* berhubungan dengan panjang gelombang pada perbatasan antara cahaya ungu dan ultraviolet, yaitu pada panjang gelombang 408 nm, 404 nm dan 385 nm.

Tabel 1. Hubungan bandgap film tipis BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O₃ dengan spektrum warna

Suhu annealing (°C)	Bandgap (eV)	Panjang gelombang (nm)	Spektrum warna
750	3,04	408	Ungu
800	3,07	404	Ungu
850	3,22	385	Ultraviolet

KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah berhasil dilakukan sintesis film tipis BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O₃ di

atas substrat Si(100) dengan metode CSD. Film tipis yang telah ditumbuhkan di atas substrat kemudian dikalsinasi dengan tiga suhu berbeda, yaitu 750, 800 dan 850 °C. Dari hasil karakterisasi sifat optik menggunakan spektroskopi UV-Vis diperoleh bahwa film tipis BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O₃ yang telah dibuat memiliki sifat semikonduktor dengan nilai *bandgap* sebesar 3,04 eV, 3,07 eV dan 3,22 eV untuk masing-masing suhu kalsinasi. Semakin tinggi suhu kalsinasi, maka semakin tinggi nilai *bandgap* yang dihasilkan. Nilai *bandgap* ini berhubungan dengan cahaya yang memiliki panjang gelombang 385 nm - 408 nm, sehingga untuk dapat mengeksitasi elektron pita valensi menjadi elektron bebas pada film tipis BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O₃ dibutuhkan energi foton yang lebih besar dari panjang gelombang ini, yaitu pada panjang gelombang cahaya ultraviolet. Hal ini memperlihatkan bahwa film tipis BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O₃ ini memiliki potensi untuk digunakan sebagai sensor atau komponen elektronik yang bekerja memanfaatkan energi pada panjang gelombang cahaya ultraviolet. Kesimpulan ini juga diperkuat dengan hasil perhitungan koefisien absorbansi yang menunjukkan bahwa film tipis BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O₃ memiliki koefisien absorbansi yang tinggi pada rentang cahaya ultraviolet.

DAFTAR PUSTAKA

[1] R. Khosla and S. K. Sharma, "Integration of Ferroelectric Materials: An Ultimate Solution for Next-Generation Computing and Storage Devices," *ACS Applied Electronic Materials*, vol. 3, no. 7, pp. 2862–2897, 2021.

[2] T. Y. Kim, S. K. Kim, and S. W. Kim, "Application of ferroelectric materials for improving output power of energy harvesters," *Nano Convergence*, vol. 5,

- no. 1, pp. 1–16, 2018.
- [3] T. Mikolajick *et al.*, “Next generation ferroelectric materials for semiconductor process integration and their applications,” *Journal of Applied Physics*, vol. 129, no. 10, pp. 1-21, 2021.
- [4] H. Ishiwara, “Ferroelectric Random Access Memories,” *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, vol. 12, no. 10, pp. 7619–7627, 2012.
- [5] Z. Fan, J. Chen, and J. Wang, “Ferroelectric HfO_2 -based materials for next-generation ferroelectric memories,” *Journal of Advanced Dielectrics*, vol. 6, no. 2, pp. 1-11, 2016.
- [6] L. Chen, M. E. Pam, S. Li, and K.-W. Ang, “Ferroelectric memory based on two-dimensional materials for neuromorphic computing,” *Neuromorphic Computing and Engineering*, vol. 2, no. 2, pp. 1-19, 2022.
- [7] A. K. Tagantsev, V. O. Sherman, K. F. Astafiev, J. Venkatesh, and N. Setter, “Ferroelectric Materials for Microwave Tunable Applications,” *Journal of Electroceramics*, vol. 11, no. 1–2, pp. 5–66, 2003.
- [8] A. R. Balakrishna, J. E. Huber, and C. M. Landis, “Nano-actuator concepts based on ferroelectric switching,” *Smart Materials Structures*, vol. 23, no. 8, 2014.
- [9] D. Damjanovic, “Ferroelectric sensors,” *IEEE Sensors Journal*, vol. 1, no. 3, pp. 191–206, 2001.
- [10] W. Li *et al.*, “Molecular Ferroelectric-Based Flexible Sensors Exhibiting Supersensitivity and Multimodal Capability for Detection,” *Advanced Materials*, vol. 33, no. 44, pp. 1–11, 2021.
- [11] K. Mistewicz, “Recent Advances in Ferroelectric Nanosensors: Toward Sensitive Detection of Gas, Mechano-thermal Signals, and Radiation,” *Journal of Nanomaterials*, vol. 2018, pp. 1-15, 2018.
- [12] Y. Subarwanti and E. Mariana, “Sintesis Feroelektrik $\text{BaZr}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$ dengan Variasi Zirkonium terhadap Struktur Kristal dan Konstanta Dielektrik,” *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, vol. 9, no. 1, pp. 47–54, 2021.
- [13] H. D. Mahmudah, Y. Iriani, and A. H. Ramelan, “Pengaruh Doping Zr pada Barium Titanat (BT) Terhadap Struktur Mikro Lapisan Tipis,” *Pertemuan Ilmiah XXX HFI Jateng & DIY*, pp. 4–7, 2016.
- [14] S. R. Adnan, “Analisa Rietveld Pada Material Barium Zirkonium Titanat,” *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, vol. 5, no. 1, pp. 1–3, 2020.
- [15] T. S. L. H. Shahab, Y. Hamzah, Z. Krisman, A. S. Rini, and R. Dewi, “Analisa pengaruh laju annealing terhadap film tipis $\text{BaZr}_{0.4}\text{Ti}_{0.6}\text{O}_3$ pada suhu 800°C selama 2 jam,” *J. Aceh Phys. Soc.*, vol. 10, no. 1, pp. 7–11, 2021.
- [16] I. Yofentina, I. V. Viska, M. Hikam, S. Bambang, M. Alfian, and P. Wahyu, “Analisis Struktur Kristal Lapisan Tipis $\text{BaZr}_{0.2}\text{Ti}_{0.8}\text{O}_3$ yang Ditumbuhkan dengan Metode Sol Gel,” *Jurnal Sains Materi Indonesia*, vol. 13, no. 1, pp. 65–68, 2011.
- [17] S. Hadiati, A. H. Ramelan, V. I. Variani, M. Hikam, B. Soegijono, D. F. Saputri, and 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,” *Jurnal MIPA*, vol. 36, no. 1, pp. 20–27, 2013.
- [18] Y. Iriani, V. I. Variani, M. Hikam, B. Soegijono, and M. Yuliani, “Pengaruh Holding Time Proses Annealing terhadap Struktur Mikro dan Morfologi Lapisan Tipis Barium Zirconium Titanate,” *Jurnal Sains Materi Indonesia*, vol. 15, no. 3, pp. 138–141, 2014.
- [19] S. R. Adnan and B. Soegijono, “Sifat Termal dan Analisis Komposisi Material Barium Zirkonium Titanat (BZT) dengan Doping Lantanum dan Indium,” *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, vol. 5, no. 2, pp. 78–82, 2020.
- [20] R. Dewi, T. S. Luqman, Y. Hamzah, Krisman, and A. S. Rini, “The effect of heating rate on $\text{BaZr}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$ thin film for $x=0.4$ and $x=0.6$ as capacitors,” *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 18, pp. 3826–3833, 2022.
- [21] S. S. Atsaurry, H. I. Islam, N. Nabilah, D. H. Saputra, G. M. Pradipta, A. Kurniawan, H. Syafutra, A. Arif, and Irzaman, “Pembuatan Alat Spin Coater Berkecepatan Sudut Tinggi Berbasis Arduino Uno,” *Seminar Nasional Fisika UNJ 2016*, pp. SNF2016-CIP-137-SNF2016-CIP-142, 2016.
- [22] N. Djohan, B. Harsono, J. Liman, H. Hardhienata, and Irzaman, “Structural, Optical Properties and Raman Spectroscopy of In_2O_3 Doped LiTaO_3 Thin Films,” *International Journal of Nanoelectronics dan Materials*, vol. 15, no. 1, pp. 17–26, 2022.

Liman dkk: Sintesis dan Karakterisasi Sifat Optik Material Feroelektrik Barium Zirkonium Titanat
(BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O₃) dengan Variasi Suhu *Annealing*