



FILM TIPIS BERBASIS BARIUM TITANATE- BARIUM ZIRCONIUM TITANATE (BT-BZT)



Rahmi Dewi



FILM TIPIS BERBASIS BARIUM TITANATE- BARIUM ZIRCONIUM TITANATE (BT-BZT)

Rahmi Dewi



GETPRESS INDONESIA

FILM TIPIS BERBASIS BARIUM TITANATE-BARIUM ZIRCONIUM TITANATE (BT-BZT)

Penulis : Rahmi Dewi

ISBN : 978-623-125-641-6

Editor : Mila Sari, M.Si.

Lulu Hayati, S.Si.

Desain Sampul dan Tata Letak : Tri Putri Wahyuni, S.Pd.

PENERBIT GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Jl. Palarik RT 01 RW 06 Kelurahan Air Pacah

Kecamatan Koto Tangah Padang Sumatera Barat

website: www.getpress.co.id

email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Februari 2025

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

PRAKATA

Buku ini menjelaskan tentang film tipis Barium Titanate-Barium Zirkonium Titanat (BT-BZT) sebagai bahan dielektrik untuk *Multilayer Ceramic Capacitors* (MLCC) yang merupakan salah satu rujukan penting dan berguna bagi mahasiswa tingkat dasar hingga peneliti terhadap dunia sains dan teknologi. Kajian mengenai buku ini telah dilakukan oleh penulis sejak dari sepuluh tahun yang lalu. Bidang komputer yang semakin maju menghasilkan komputer berenergi tinggi dengan kapasitansi yang besar. Belakangan ini, perusahaan bersaing mengeluarkan komputer mini dan menuntut adanya komponen elektronik yang berukuran nano. Hal ini sejalan dengan perkembangan dan kemajuan menghasilkan piranti piranti semikonduktor seperti transistor, kapasitor, dan *Intergrated Circuit* (IC)

Buku ini terdiri dari 4 bab dengan pembahasan sebagai berikut

Bab I Studi Material Feroelektrik

Bab II Feroelektrik BT-BZT

Bab III Sintesis dan Karakterisasi Film Tipis BT-BZT

Bab IV Penutup

Penulis merasa buku ini belum sempurna tetapi penulis berharap buku ini dapat memberi manfaat kepada pembaca. Saran dan kritik yang membangun akan penulis terima untuk pelajaran bagi penulis dalam penulisan buku selanjutnya.

Penulis mengucapkan terimakasih atas dorongan dan pengorbanan bagi penulis, suami dan keluarga besar Alm. H. Maaruf Ismail, Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Get Press Indonesia untuk menerbitkan buku ini. Mudah-mudahan buku ini dapat memberi manfaat bagi pembaca.

Pekanbaru, Januari 2025

Penulis

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR.....	iii
DAFTAR TABEL.....	v
BAB I STUDI MATERIAL FEROELEKTRIK.....	1
BAB II FEROELEKTRIK BT-BZT	4
2.1 Bahan Feroelektrik.....	4
2.2 Bahan Dielektrik	5
2.3 Bahan Barium Titanat (BT)	6
2.4 Bahan Barium Zirkonium Titanat (BZT)	7
2.5 Kapasitor Keramik Multilayer.....	9
2.6 Metode Sol-gel.....	10
2.7 Spin Coating	12
2.8 Karakterisasi Sampel.....	12
2.8.1 1 Difraksi Sinar-X (XRD)	13
2.8.2 <i>Ultraviolet Visible</i> (UV-Vis).....	14
2.8.3 <i>Field Emmision Dispersif Microscopy-Energy Dispersive X-Ray</i> (FESEM-EDX)	15
2.8.4 Karakterisasi Menggunakan Spektroskopi Impedansi	16
BAB III SINTESIS DAN KARAKTERISASI FILM TIPIS BT-BZT.....	19
3.1 Sintesis Film Tipis BT-BZT	19
3.1.1 Alat dan Bahan.....	19
3.1.3 Persiapan Substrat	21
3.1.4 <i>Etching</i> Substrat FTO Bagian Tengah.....	21
3.1.2 Penyediaan Bahan BT dan BZT	22
3.1.3 Pembuatan Larutan BZT dengan Metode Sol-Gel.....	22
3.1.4 Pembuatan Larutan BT Menggunakan Metode Sol-Gel.....	23
3.1.5 Pencampuran Larutan BZT dan BT	24
3.1.6 Proses <i>Spin Coating</i>	24
3.1.7 Pemanasan Lapisan Tipis BT-BZT pada Substrat.....	24
3.1.8 Proses <i>Annealing</i>	24
3.2 Karakterisasi Film Tipis BT-BZT.....	25
3.2.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	25
3.2.2 Karakterisasi <i>Ultraviolet Visible</i> (UV-Vis)	32
3.2.3 <i>Field Emmision Dispersif Microscopy-Energy Dispersive X-Ray</i> (FESEM-EDX)	45
3.2.4 Karakterisasi Menggunakan Spektroskopi Impedansi	57
BAB IV PENUTUP	70
DAFTAR PUSTAKA.....	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Struktur ABO_3	4
Gambar 2. 2. Struktur kristal bahan $BaTiO_3$	7
Gambar 2. 3. Struktur kristal bahan $BaZrTiO_3$	9
Gambar 2. 4. Pola Difraksi Sinar-X (Modena et al., 2019)	13
Gambar 2. 5. Diagram Prinsip Kerja FESEM (Senthil Prabhu et al., 2021).	16
Gambar 3. 1. Diagram Alir Sintesis BT-BZT	20
Gambar 3. 2. Diagram pembuatan larutan BZT	23
Gambar 3. 3. Diagram Pembuatan Larutan BT	24
Gambar 3. 4. Pola XRD Sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c) BT-BZT800.....	25
Gambar 3. 5. Puncak tertinggi pada pola XRD BT-BZT pada bidang (200).....	26
Gambar 3. 6. Pola XRD Sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c) BT-BZT800.....	28
Gambar 3. 7. Puncak tertinggi pada pola XRD BT-BZT pada bidang (211).....	29
Gambar 3. 8. Pola XRD sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c) BT-BZT800	30
Gambar 3. 9. Puncak tertinggi pada pola XRD BT-BZT pada bidang (211).....	31
Gambar 3. 10. Spektrum Absorbansi Sampel (a) BT-BZT700, (b) BT-BZT750 (c)BT-BZT800	33
Gambar 3. 11. Reflektansi UV-Vis pada Sampel (a) BT-BZT700 (b) BT- BZT750(c)BT- BZT800	34
Gambar 3. 12. Penentuan Energi Celah Pita dengan Hubungan Energi (hv) terhadap $(F(R).hv)^2$ pada pada Sampel (a) BT-BZT700 (b) BT- BZT750 (c)BT-BZT800.....	34
Gambar 3. 13. Spektrum Transmittansi Sampel BT-BZT yang <i>Diannealing</i> pada pada sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750(c)BT-BZT800	35
Gambar 3. 14. Spektrum reflektansi sampel BT-BZT yang <i>diannealing</i> pada suhu 700°C, 750°C, dan 800°C	37
Gambar 3. 15. Spektrum absorbansi sampel BT-BZT yang <i>diannealing</i> pada suhu 700°C, 750°C, dan 800°C	38
Gambar 3. 16. Penentuan energi celah pita dari hubungan $(F(R). hv)^2$ dan energi(hv) pada suhu 700°C, 750°C, dan 800°C.....	38
Gambar 3. 17. Spektrum transmittansi sampel BT-BZT yang <i>diannealing</i> pada sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c) BT-BZT800	40
Gambar 3. 18. Spektrum reflektansi UV-Vis sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c) BT-BZT800	41
Gambar 3. 19. Spektrum absorbansi UV-Vis sampel (a) BT-BZT700 (b) BT- BZT750 (c) BT-BZT800	42
Gambar 3. 20. Penentuan energi celah pita dari hubungan $(F(R).hv)^2$ dan energi (hv) pada sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c) BT-BZT800	42
Gambar 3. 21. Spektrum transmittansi sampel BT-BZT yang <i>diannealing</i> pada sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c) BT-BZT800	44
Gambar 3. 22. Foto Pemindaian Morfologi FESEM pada pada Sampel (a) BT- BZT700 (b) BT-BZT750 (c)BT-BZT800.....	46
Gambar 3. 23. Foto Pemindaian Ketebalan BT-BZT Melalui Karakterisasi FESEM pada pada Sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c)BT-BZT800	47
Gambar 3. 24. Spektrum EDX pada Suhu <i>Annealing</i> pada Sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c)BT-BZT800	48
Gambar 3. 25. Foto dan kurva pindaian FESEM pada suhu 700°C, 750°C, dan 800°C ..	50

Gambar 3. 26. Foto pemindaian ketebalan BT-BZT pada suhu 700°C, 750°C, dan 800°C	51
Gambar 3. 27. Spektrum EDX pada suhu 700°C, 750°C, dan 800°C	52
Gambar 3. 28. Foto dan kurva pindaian FESEM pada sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c) BT-BZT800	53
Gambar 3. 29. Foto hasil pemindaian ketebalan sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c) BT-BZT800	55
Gambar 3. 30. Spektrum EDX pada sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c) BT-BZT800	56
Gambar 3. 31. Hubungan C terhadap F pada Sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c) BT-BZT800	57
Gambar 3. 32. Hubungan konstanta dielektrik terhadap frekuensi pada Sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c) BT-BZT800	59
Gambar 3. 33. Hubungan $\tan \delta$ terhadap F pada Sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c) BT-BZT800	60
Gambar 3. 34. Hubungan konstanta dielektrik terhadap frekuensi pada suhu 700°C, 750°C, dan 800°C	62
Gambar 3. 35. Hubungan kapasitansi terhadap frekuensi pada suhu 700°C, 750°C, dan 800°C	63
Gambar 3. 36. Hubungan $\tan \delta$ terhadap frekuensi pada suhu 700°C, 750°C, dan 800°C	64
Gambar 3. 37. Hubungan konstanta dielektrik terhadap frekuensi pada sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c) BT-BZT800	66
Gambar 3. 38. Hubungan Kapasitansi terhadap frekuensi pada sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c) BT-BZT800	67
Gambar 3. 39. Hubungan Tan terhadap frekuensi pada sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c) BT-BZT800	68

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1. Alat dan Bahan yang Digunakan Beserta Fungsinya.....	19
Tabel 3. 2. Bidang hkl Sudut 2θ Sampel BT-BZT pada Puncak Difraksi.....	26
Tabel 3. 3. Parameter kisi, Nilai FWHM dan Ukuran Kristal Sampel BT-BZT bidang hkl (200).....	27
Tabel 3. 4. Bidang hkl sudut 2θ sampel BT-BZT pada puncak difraksi.....	28
Tabel 3. 5. Parameter kisi, nilai FWHM dan ukuran kristal sampel BT-BZT bidang hkl (211) pada suhu 700°C dan 750°C	29
Tabel 3. 6. Bidang hkl sudut 2θ sampel BT-BZT pada puncak difraksi.....	31
Tabel 3. 7. Parameter kisi, Nilai FWHM dan Ukuran Kristal Sampel BT-BZT bidang hkl (211).....	32
Tabel 3. 8. Nilai Penyerapan Optik Sampel BT-BZT	32
Tabel 3. 9. Nilai Penyerapan Optik Sampel BT-BZT	33
Tabel 3. 10. Ketebalan Lapisan Tipis Sampel BT-BZT dari Data Transmittansi.....	36
Tabel 3. 11. Ketebalan Lapisan Tipis Sampel BT-BZT dari Data Transmittansi.....	39
Tabel 3. 12. Ketebalan Lapisan Tipis Sampel BT-BZT dari Data Transmittansi.....	44
Tabel 3. 13. Ukuran Rata-Rata Partikel pada Sampel BT-BZT	45
Tabel 3. 14. Ketebalan pada Sampel BT-BZT	46
Tabel 3. 15. Presentase Komposisi Unsur yang Terkandung pada Sampel BT-BZT.....	49
Tabel 3. 16. Ukuran rata – rata partikel pada sampel BT-BZT.....	49
Tabel 3. 17. Ukuran rata-rata partikel pada sampel BT-BZT.....	54
Tabel 3. 18. Nilai kapasitansi pada sampel BT-BZT	58
Tabel 3. 19. Nilai Konstanta Dielektrik pada Sampel BT-BZT.....	59
Tabel 3. 20. Nilai Kehilangan Dielektrik pada Sampel BT-BZT.....	60

BAB I

STUDI MATERIAL FEROELEKTRIK

Setiap tahunnya perkembangan teknologi terus terjadi di seluruh dunia khususnya pada bidang elektronika. Salah satu contoh dari perkembangan ini adalah kapasitor yang dapat menyimpan muatan dan mengandung bahan bersifat feroelektrik dan dielektrik di dalamnya (Zaidah, 2020). Perkembangan feroelektrik dimulai pada tahun 1960-an dimana feroelektrik diproduksi dalam bentuk kristal tunggal atau *bulk*. Dalam dekade terakhir ini terdapat kemajuan fabrikasi feroelektrik dalam bentuk film tipis. Film tipis memiliki keunggulan mudah dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan film, menyediakan memori permanen sehingga kehilangan informasi permanen selama pengulangan proses dapat dikurangi. Aplikasi film tipis meliputi *buffer layer*, transduser, sakelar, sensor, kapasitor, dan memori (Umiati et al., 2001).

Feroelektrik adalah bahan dielektrik dengan polarisasi spontan yang memiliki keunggulan polarisasi internal dapat diubah-ubah oleh medan listrik dan polarisasi yang sesuai (Zaidah, 2019). Bahan feroelektrik dapat digunakan dalam sel memori *Dynamic Random Access Memory* (DRAM) karena memiliki sifat piezoelektrik untuk mikroaktuator dan sensor serta sifat polarisasi untuk *Non volatile ferroelectric Random Access Memory* (NVFRAM). Keunggulan bahan feroelektik adalah memiliki memori yang besar sehingga dapat menyimpan data lebih banyak dibandingkan bahan feromagnetik. Bahan feroelektrik mampu menyimpan menyimpan 108 bit/cm² dan bahan feromagnetik hanya mampu menyimpan 105 bit/cm². Penyimpanan yang besar pada bahan feroelektrik menyebabkan bahan ini mampu mengurangi kehilangan informasi selama proses berulang (Hadiati et al., 2014).

Bahan feroelektrik yang umum digunakan adalah Barium Titanat (BT), Barium Stronsium Titanat (BST), *Lead Zirconium Titanate* (PZT) dan Barium Zirkonium Titanat (BZT). Barium Zirkonium Titanat ($\text{BaZr}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$) adalah bahan feroelektrik dengan sifat dielektrik yang memiliki transisi fasa feroelektrik ke paraelektrik dengan realisasi Ti pada BaTiO_3 digantikan oleh Zr^{4+} . Penggunaan Zr^{4+} karena unsur kimiawinya lebih stabil dan ukuran ion lebih besar dibanding dengan Ti^{4+} , parameter dapat ditingkatkan dengan menambah komposisi Zr pada BZT (Novak et al., 2021).

Barium Titanat (BaTiO_3 ; BT) adalah bahan piezoelektrik bebas timbal yang kinerjanya dapat ditingkatkan dengan proses doping. Suhu inversi polarisasi dan suhu curie yang rendah menyebabkan Barium Zirkonium Titanat ($\text{BaTi}_x\text{Zr}_{1-x}\text{O}_3$; BZT) memiliki sifat piezoelektrik yang baik. Sebelum diperkenalkannya keramik bebas timbal, Keramik yang awalnya digunakan untuk membentuk siklus komposit didasarkan pada PZT. Namun, pencemaran lingkungan akibat dari toksisitas timbal oksida mengarahkan para peneliti untuk mencari keramik bebas timbal dengan sifat yang sebanding dengan PZT (Potong et al., 2014).

Keramik Barium Titanat (BaTiO_3 , BT) adalah salah satu perovskit polikristalin bebas timbal yang dapat dengan mudah digunakan dalam MLCC karena konstanta dielektrik dan sifat feroelektriknya yang tinggi. Barium Titanat (BT) memiliki suhu curie yang tinggi dan puncak curie yang tajam, ion Zr^{4+} ditambahkan untuk membentuk larutan Barium Zirkonium Titanat (BZT). Modifikasi dengan *kation trivalent* (La, Dy, Sm, Eu, Y, Nd, dll) adalah salah satu cara untuk menginduksi perilaku feroelektrik relaksor keramik BZT untuk meningkatkan kinerja aplikasinya (Du et al., 2023).

Penggunaan bahan feroelektrik pada perangkat elektronik ataupun optoelektronik menjadi semakin umum digunakan. Bahan feroelektrik dapat digunakan pada kapasitor dielektrik, perangkat optik, filter piezoelektrik, detektor piezoelektrik, dan transdusen akustik. Barium Titanat (BaTiO_3) adalah salah satu oksida feroelektrik yang paling umum digunakan karena sifat feroelektriknya yang spesifik secara biologis, konstanta dielektrik yang tinggi, dan resistansi yang rendah. (Hemeda et al., 2019).

Pembelajaran tentang struktur sifat feroelektrik pada keramik berbasis BT digunakan untuk mempelajari struktur domain feroelektrik di kristal tunggal dan hal ini berkorelasi dengan perputaran domain feroelektrik, ukuran butiran, dan sifat-sifat fisik domain elektrik yang semakin jelas. Faktor-faktor yang mempengaruhi kepadatan dinding domain adalah cacat titik dan perbedaan ketergantungan ukuran butiran pada sifat dielektrik, piezoelektrik, atau keramik BT (Hemeda et al., 2019).

MLCC adalah komponen pasif pada perangkat elektronik seperti peralatan rumah tangga, mesin industri, catu daya di kendaraan, dan perangkat pintar karena memiliki ukuran yang sangat kecil dan kapasitas yang besar (Du et al., 2023). MLCC berfungsi untuk mendistribusikan aliran arus listrik, meredam suara, dan melindungi kerusakan pada perangkat. MLCC biasanya ditempatkan pada papan PCB di berbagai perangkat elektronik dan memiliki nilai resistansi seri yang ekuivalen (Panda et al., 2020).

Pembuatan MLCC berkualitas tinggi seringkali menghadirkan tantangan dalam proses pembuatannya seperti masalah pada reaksi kimia, masalah dalam pembakaran sampel, dan masalah dalam tegangan sisa. BaTiO_3 merupakan bahan yang umum digunakan untuk membuat MLCC. Ketika penggunaan BT murni tidak memenuhi syarat kestabilan akibat variasi permivitas suhu curie ($T_c=30^\circ\text{C}$) maka perlu penambahan bahan Zirkonium Titanat (Zr) untuk mendapatkan kestabilan yang diharapkan.

Buku ini menggunakan bahan Barium Titanat (BT) dan bahan Barium Zirkonium Titanat dengan komposisi $(0,7)\text{BaTiO}_3-(0,3)\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$. Pembahasan sebelumnya menggunakan komposisi $x = 0,1$ dan $x = 0,2$. Bahan BT-BZT kemudian dicampur dan *dispin coating* di atas substrat FTO (*Fluorine Tin Oxide*) yang dilanjutkan dengan pemanasan dengan suhu *annealing* suhu 700°C , 750°C , dan 800°C . Variasi suhu dalam buku ini bertujuan untuk mencari kristal yang terbaik. Karakterisasi pada buku ini menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk menganalisa fasa kristal material dan menghitung ukuran kristal, karakterisasi dengan *Ultraviolet Visible* (UV-Vis) bertujuan untuk menganalisa sifat optik dan celah pita energi, Karakterisasi dengan *Field Emmision Dispersif Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (FESEM-EDX) digunakan untuk menganalisa struktur morfologi, ukuran butiran, ketebalan, dan EDX pada sampel, serta karakterisasi menggunakan spektroskopi impedansi bertujuan untuk menentukan nilai kapasitansi, kehilangan dielektrik, dan kehilangan dielektrik dari bahan BT-BZT

BAB II

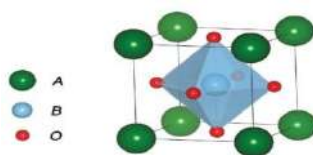
FEROELEKTRIK BT-BZT

2.1 Bahan Feroelektrik

Feroelektrik adalah bahan dielektrik yang memiliki polarisasi spontan yang dapat diorientasikan kembali ketika diberi medan listrik eksternal. Struktur kristal perovskit pada bahan feroelektrik memiliki momen dipol permanen yang terkait dengan sel satuan ionik di dalamnya, sehingga polarisasi terjadi secara spontan. Dipol feroelektrik terbentuk ketika pusat muatan positif dan negatif saling berdekatan. Feroelektrik dapat berada dalam fase yang berbeda, tergantung pada suhu, tegangan, medan listrik, dan komposisinya. (Shkuratov & Lynch, 2022).

Bahan feroelektrik dalam bentuk film tipis merupakan konsep yang menarik dalam bidang fisika dan termodinamika. Film tipis adalah lapisan dengan ketebalan dalam skala mikrometer (Wang et al., 2023). Feroelektrik memiliki sifat polarisasi listrik spontan yang dapat dibalik di bawah pengaruh medan listrik eksternal. Sifat ini membuat bahan feroelektrik berpotensi diterapkan dalam perangkat elektronik, seperti memori non-volatile, dengan mengapitnya antara dua elektroda dalam bentuk senyawa feroelektrik. Kemajuan industri di bidang elektronika dan peningkatan produksi perangkat elektronik mendorong pengurangan ukuran material feroelektrik, yang berdampak pada ketidakstabilan polarisasi, rekonstruksi permukaan, serta kemunculan cacat pada material tersebut. (Jin et al., 2023).

Struktur perovskit adalah salah satu struktur yang menunjukkan adanya polarisasi spontan pada suhu tertentu. Struktur perovskit dengan formula umum ABO_3 terdiri dari unsur A, yang dapat berupa logam monovalen, divalen, atau trivalen; unsur B, yang dapat berupa unsur trivalen, tetravalen, atau pentavalen; dan unsur O, yaitu oksigen. Bahan dengan struktur perovskit memiliki sifat-sifat khusus yang terkait dengan struktur kristalnya, transisi fasa sebagai fungsi suhu, serta ukuran sel dalam satuan selnya. (Istiqomah, M., Anif, J & Yofentina, 2014). Gambar 2.1 menunjukkan struktur perovskite $BaTiO_3$.



Gambar 2.1. Struktur ABO_3

Material feroelektrik pertama kali ditemukan oleh Valasek pada tahun 1921 dalam senyawa kompleks yang disebut garam Rochelle atau *Kalium Natrium Tartrat Tetrahydrate* dan menjadi satu - satunya bahan yang memiliki polarisasi yang dapat dibalik pada waktu itu. Feroelektrik diamati pada kalium dihydrogen fosfat (KH_2PO_4) pada tahun 1935. Barium titanat (BaTiO_3) merupakan bahan feroelektrik klasik dan populer ditemukan selama Perang Dunia II pada tahun 1941 (Buscaglia *et al.*, 2021).

Feroelektrik merupakan kelompok material elektronik, khususnya dielektrik yang mempunyai sifat polarisasi spontan serta mempunyai kemampuan merubah polarisasi internalnya dengan menggunakan medan listrik sesuai yang diberikan pada bahan tersebut. Polarisasi spontan terjadi karena ketidaksimetrisan struktur kristal pada material feroelektrik. Efek polarisasi yang terjadi pada feroelektrik diharapkan terjadi perubahan sifat fisik kristal, seperti elastis, optik, termal, dan lain – lain (Li & Liu, 2004).

2.2 Bahan Dielektrik

Bahan dielektrik adalah bahan isolator yang tidak memiliki elektron konduksi yang bebas bergerak di bawah pengaruh medan listrik. Medan listrik tidak dapat menghasilkan gerakan muatan pada bahan yang bersifat dielektrik. Sifat dielektrik menunjukkan kemampuan bahan untuk menyimpan, mentransmisikan, dan memantulkan energi pada gelombang elektromagnetik. Dielektrik dapat menghasilkan kapasitas yang lebih besar pada kapasitor karena dapat menyerap radiasi gelombang elektromagnetik dan mengubahnya menjadi panas (Jumingin & Setiawati, 2016).

Bahan dielektrik yang ideal tidak mempunyai muatan bebas. Medan listrik memberikan gaya pada partikel yang bermuatan. Setiap muatan positif dan negatif partikel akan bergerak berlawanan dari arah posisi setimbangnya. Namun, perpindahan ini dibatasi oleh gaya pemulih yang kuat disebabkan oleh berubahnya susunan muatan di dalam molekul. Perpindahan muatan positif ke muatan negatif menyebabkan terpolarisasinya dielektrik. Polarisasi bergantung pada medan listrik dan sifat molekul penyusun bahan dielektrik (Elviana, 2021).

Bahan dielektrik yang biasa digunakan adalah udara, vakum, keramik, dan kaca. Ketika tegangan diterapkan pada ujung pelat logam, muatan positif akan terakumulasi pada salah satu kaki logam (elektroda) dan pada saat yang bersamaan muatan negatif akan terakumulasi pada sisi yang lain. Muatan yang dipisahkan oleh dielektrik non-konduktif tidak dapat mengalir, muatan positif tidak dapat mengalir ke ujung negatif

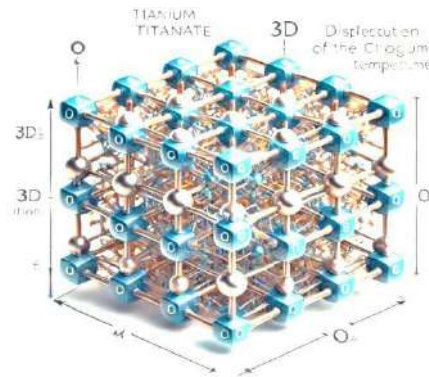
dan muatan negatif tidak dapat mengalir ke ujung positif. Muatan ini akan menumpuk selama tidak ada konduksi di ujung kaki (Elviana, 2021).

2.3 Bahan Barium Titanat (BT)

Barium Titanat (BaTiO_3 , BT) adalah bahan feroelektrik dalam industri kelistrikan dan elektronika karena memiliki konstanta dielektrik, konstanta feroelektrik, permivitas dielektrik tinggi, feroelektrik, piezoelektrik, dan piroelektrik. BT mencakup perangkat koefisien suhu, perangkat pembangkit pulsa, detektor inframerah, perangkat kontrol tegangan untuk elektronik gelombang mikro, kapasitor keramik multilayer (MLCC), aktuator piezoelektrik, ultrasonik, sensor pengontrolan termal, dan perangkat gelombang mikro untuk piezoelektrik transduser perangkat penyiapan muatan (Islam et al., 2022).

Rumus ABO_3 adalah rumus umum Barium Titanat (BT) yang tersusun dari mineral oksida logam berbasis perovskit yang mengkristal pada suhu kamar dan memiliki struktur tetragonal yang stabil. BT adalah dopan yang umum digunakan untuk membuat aplikasi MLCC. Sifat BT bergantung pada jenis doping, metode preparasi, struktur mikro, rasio Ba:Ti, jumlah dopan, kelarutan, dan sifat listrik dopan (Islam et al., 2022).

Oksida feroelektrik yang paling umum digunakan pada struktur perovskit ABO_3 sebagai kapasitor adalah Barium Titanat (BaTiO_3) karena memiliki konstanta dielektrik yang tinggi. Kerugian dielektrik pada frekuensi dapat dikurangi dengan menambahkan SrO ataupun ZrO_2 sebagai dopan (Cai et al., 2009). Barium titanat (BaTiO_3) adalah bahan perovskit dengan berbagai aplikasi. Sifat optik nonlinier dan sifat elektro-optik bahan divariasikan dengan menambahkan bahan di subkisi yang digunakan dalam perangkat optoelektronik seperti sakelar optik dan konversi peningkatan frekuensi (Alex Pandian & Sivakumar, 2023). Gambar 2.2 memperlihatkan struktur kristal BaTiO_3 susunan perovskit dalam bentuk kisi 3D. dengan detail ion barium, titanium, dan oksigen. Struktur ini mencerminkan potensi pergeseran ion titanium dan distorsi yang terjadi di bawah suhu Curie.



Gambar 2. 2. Struktur kristal bahan BaTiO₃

2.4 Bahan Barium Zirkonium Titanat (BZT)

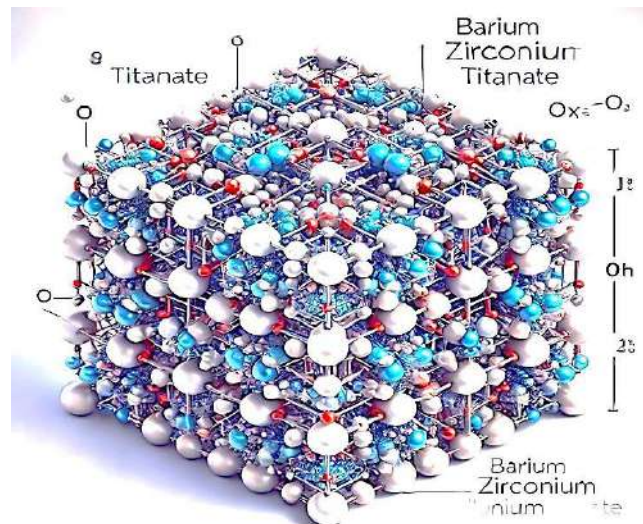
Keramik BZT yang didoping oleh Zr memiliki sifat paraelektrik yang khas dan ditransisi menjadi fase feroelektrik. Film tipis BZT memiliki berbagai keunggulan seperti kebutuhan daya listrik yang rendah, suhu sinter rendah, substratnya mudah untuk diintegrasikan, dielektrik nonlinier, orientasi, dan transisi fase film tipis BZT dengan Zr lebih tinggi (Gao et al., 2005).

Keramik BZT mengandung Zr⁴⁺ yang merupakan komposisi dielektrik pada kapasitor keramik multilayer (MLCC). Pendopingan BaTiO₃ dengan Zr⁴⁺ diketahui lebih baik dibanding dengan Ti⁴⁺. Keramik Ba(Zr_xTi_{1-x})O, ketika Zr_x melebihi 8% maka keramik menunjukkan kurva suhu konstan dielektrik yang luas di dekat T_m. Jika Zr kurang dari 10% menunjukkan feroelektrik normal. Ketika kandungan Zr meningkat suhu fasa transisi akan semakin mendekat sehingga transisi fase akan terjepit. Ketika kandungan Zr mencapai 20%, transisi fasa hanya terjadi satu kali, dan ketika sekitar 27 % keramik yang didoping akibatnya adalah fase transisi paraelektrik ke feroelektrik. Sifat feroelektrik perovskit Ba(Zr_xTi_{1-x})O meningkat seiring dengan peningkatan dopan dan sifat listrik keramik feroelektrik dapat dikontrol dengan mengganti dopan tanpa mempengaruhi yang lainnya (Wittinanon et al., 2020).

BZT berpotensi menjadi alternatif yang mungkin untuk barium strontium titanat (BST) dalam fabrikasi kapasitor keramik karena Zr⁴⁺ secara kimiawi lebih stabil dari Ti⁴⁺ dan mempunyai ukuran ion yang lebih besar untuk memperluas kisi perovskite (Ren et al., 2018). Bahan BZT mempunyai konstanta dielektrik yang lebih tinggi akan meningkatkan kapasitansi muatan yang lebih tinggi sehingga penyimpanan bebannya lebih banyak (Hidayat et al., 2021).

BZT, berdasar pada barium titanat yang diperoleh dari modifikasi Zr^{4+} terhadap Ti^{4+} yang mempunyai jari – jari yang hampir sama. Barium titanat dengan sifat konstanta dielektrik yang tinggi serta kerapatan butiran yang dapat mengakibatkan kerapatan ukuran kristal mengalami peningkatan ketika ditambahkan dengan cara mensubsitusikan Ti dengan kation Zr, *loss* dielektrik terjadi lebih rendah, karena Zr pada Ti dapat meningkatkan kestabilan kimia pada material feroelektrik (Verma *et al.*, 2021).

BZT adalah kandidat yang menarik untuk membuat memori acak dinamis dan perangkat dielektrik, tepat diatas suhu curie dalam keadaan paraelektriknya. Konstanta dielektrik tinggi yang bergantung pada medan dan larutan padat berbasis barium titanat dengan kehilangan rendah merupakan kandidat bahan pemindah fasa yang menarik untuk aplikasi yang dapat disetel dengan gelombang mikro. Barium Strontium Titanat (BST) adalah salah satu bahan dielektrik yang paling banyak dipelajari untuk aplikasi tunabilitas, sayangnya karena kehilangan dielektriknya yang tinggi penggunaannya dibatasi pada perangkat yang dapat disetel dengan gelombang mikro. Sifat dielektrik dari komposit ferrielektrik perlu dikurangi untuk meningkatkan pencocokan impedansi secara keseluruhan dan, dengan demikian, mengurangi kerugian penyisipan pada perangkat. BZT telah dipelajari secara ekstensif karena fenomena dielektriknya yang signifikan di sekitar suhu Curie (T_c), yang disebabkan oleh distribusi Zr yang tidak homogen dalam Ti serta tekanan mekanis pada butiran. Substitusi Zr, yang lebih stabil secara kimiawi daripada Ti dalam kisi $BaTiO_3$, secara drastis menurunkan T_c dengan nilai kerugian dielektrik yang rendah (Sreenivas Puli *et al.*, 2013). Gambar 2.3 memperlihatkan ilustrasi struktur kristal Barium Zirkonium Titanate ($BaZrTiO_3$), menunjukkan susunan perovskit dengan komposisi campuran atom zirkonium dan titanium di posisi pusat tiap sel satuan. Struktur ini mencerminkan substitusi atom dan karakteristik perovskitnya.



Gambar 2. 3. Struktur kristal bahan BaZrTiO₃

2.5 Kapasitor Keramik Multilayer

Kapasitor adalah sebuah komponen elektronika yang berfungsi menyimpan muatan listrik dalam jangka waktu tertentu. Kapasitor juga sebagai filter atau penyaring, pembangkit frekuensi, penghemat daya listrik. Prinsip kerja kapasitor terjadi melalui pembentukan muatan positif dan negatif pada dua lempengan metal yang dipisahkan oleh bahan dielektrik. Kapasitor memiliki berbagai jenis berdasarkan bahan pembuatannya salah satu nya seperti yang terbuat dari bahan keramik yatu kapasitor keramik multilayer (MLCC).

MLCC (Multilayer Ceramic Capacitor) adalah salah satu cara efektif untuk meningkatkan efisiensi volumetrik kapasitor. Dengan menggunakan lapisan dielektrik tipis yang disusun secara paralel, kapasitor ini mampu menghasilkan tingkat kapasitansi yang lebih tinggi. Kapasitor keramik memiliki potensi untuk memenuhi persyaratan konversi daya pada suhu tinggi dan berfungsi sebagai sistem penyimpanan energi yang andal. MLCC tipe X7R dibuat dengan lapisan dielektrik berbahan keramik BaTiO₃ untuk mencapai sifat dielektrik yang stabil pada rentang suhu yang relatif rendah (Du et al., 2023). Tabel 2.1 Sub Kelas MLCC (Jennifa, 2019).

Kelas IEC	Deskripsi	Material	Karakteristik Suhu Umum
Kelas 1	Konstanta dielektrik rendah Faktor Disipasi rendah ($< 0,01$) Kebanyakan stabil dengan temperatur dan tegangan	TiO_2 or CaTiO_3 dengan material aditif	C0G (NP0)
Kelas II	Konstata dielektrik tinggi Faktor disipasi tinggi Kurang stabil dibanding kelas 1	BaTiO_3 dengan zat aditif	X7R, 5V, Z5U

MLCC adalah kapasitor yang terbuat dari lapisan elektroda logam dan dielektrik keramik dengan konstruksi *interleaved*. MLCC digunakan dalam sistem elektronik di berbagai industri. Ketergantungan MLCC dalam bentuk elektronik modern dapat dilihat kamera GoPro berisi 320 MLCC, iPhone X berisi 1000 MLCC dan sekitar 10.000 MLCC dalam kendaraan listrik Tesla. MLCC dibagi menjadi sub kelas berdasarkan karaterisasi dielektrik, khususnya karakteristik bahan dan stabilitas suhu. Beberapa karakteristik bahan dielektrik menjadi kelas yang ditunjukkan dua standar yaitu kelas I dan kelas II, dimana karakteristik kelas I memiliki konstanta dielektrik yang lebih rendah namun lebih stabil dibanding kelas IEC II.

Standar IEC dan IEA keduanya memberikan deskripsi bahwa dielektrik dikelas I memiliki konstanta dielektrik yang *relative* rendah, faktor disipasi yang rendah, dan memiliki ketergantungan yang *relative* rendah pada suhu dan tegangan dibandingkan kelas lain. MLCC kelas II mengacu pada MLCC dengan dielektrik yang menunjukkan sifat feroelektrik. Semua MLCC kelas II terbuat dari BaTiO_3 dengan persentase yang tinggi, misalnya 90-98% untuk X7R, 80-94% untuk Z5U (Jennifa, 2019).

2.6 Metode Sol-gel

Metode sol-gel adalah proses untuk membuat berbagai jenis keramik. Proses ini melibatkan suspensi koloid sol-gel, atau reaksi hidrolisis dan polimerisasi prekursor yang berasal dari logam anorganik atau senyawa logam organik seperti alkoksida logam. Polimerisasi yang sempurna dan penguapan pelarut akan menyebabkan transisi dari fase cair (sol) menjadi fase gel padat. (Karlina et al., 2023).

Film tipis diproduksi dengan menggunakan substrat yang dilapisi melalui metode pelapisan spin atau pelapisan celup. Gel basah yang terbentuk dari sol ditempatkan pada cetakan dan kemudian dikeringkan atau diberi perlakuan panas. Proses

pengeringan ini membentuk struktur jaringan yang berkelanjutan sehingga menghasilkan gel dengan pori-pori besar, yang biasa disebut *aerogel* (Karlina et al., 2023).

Metode sol-gel adalah cara yang menguntungkan untuk mensintesis bahan ferit berukuran nano karena memungkinkan pengendalian stoikiometri dalam produksi partikel ultra halus pada suhu rendah. Teknik ini secara khusus merujuk pada hidrolisis dan kondensasi prekursor oksida logam dalam dispersi partikel oksida dalam “sol,” yang kemudian dikeringkan atau dibentuk menjadi gel dengan menghilangkan pelarut melalui reaksi kimia. Air umumnya digunakan sebagai pelarut, dengan teknik katalis untuk menginduksi pembentukan koloid sebagai struktur polimer gel. (Nurjanah et al., 2022).

Metode untuk membentuk film oksida logam meliputi deposisi lapisan atom, deposisi uap fisik, deposisi uap kimia, deposisi uap kimia yang ditingkatkan plasma, epitaksi berkas molekul, deposisi uap kimia organik logam, sputtering, penguapan termal, dan deposisi kimia basah. Proses sol-gel merupakan salah satu metode deposisi kimia basah yang paling umum. Sol-gel melibatkan konversi monomer menjadi larutan koloid (sol) yang berfungsi sebagai prekursor untuk membentuk jaringan terintegrasi (gel) dari partikel atau polimer diskrit. (C. Liu *et al.*, 2020).

Metode sol-gel adalah proses kimia yang dapat digunakan untuk mensintesis bahan keramik komponen tunggal atau ganda (termasuk kaca) dalam bentuk film tipis, bubuk ultra halus, bahan berpori dengan luas permukaan tinggi, mineral abrasif padat, serat keramik, dan kaca pada suhu rendah (Phulé & Wood, 2001). Proses sol-gel melibatkan hidrolisis terkontrol dan kondensasi prekursor terlarut, yang membentuk sol—suspensi homogen partikel oksida padat submikroskopik dalam cairan. Partikel dalam sol dapat tumbuh dan mengendap, membentuk jaringan kontinu yang mengandung polimer atau gel dengan partikel pelarut yang terperangkap di dalamnya (Crayston, 2003).

Sol mengacu pada dispersi partikel koloid satu fase dalam medium fluida. Misalnya, ketika partikel koloid tersuspensi di udara, air, atau cairan organik, istilah yang digunakan adalah aerosol, hydrosol, dan organosol. Proses sol-gel juga dikenal sebagai proses larutan sol-gel. Partikel-partikel dalam sol, menurut definisi, bersifat koloid; pada suhu kamar, mereka tetap tersebar karena gerakan Brown. Ukuran partikel rata-rata yang diperlukan biasanya kurang dari 1000 nm (1 μm). (Phulé & Wood, 2001).

Keuntungan utama yang terkait dengan proses sol-gel meliputi suhu pemrosesan yang lebih rendah, tingkat kemurnian yang tinggi, kontrol konsentrasi dopan, kemampuan untuk mensintesis komposisi multikomponen dalam bentuk produk yang berbeda dan kemudahan fabrikasi film atau pelapis oksida kompleks, kontrol komposisi dan struktur mikro film yang diendapkan dengan mudah. Sol-gel digunakan untuk pembuatan berbagai macam bahan fungsional, teknologi ini sangat cocok untuk pengendalian bentuk, ukuran dan komposisi oksida logam pada skala nano yang merupakan kunci dari spektrum aplikasi yang luas, mulai dari penyimpanan, konversi energi, penginderaan, bidang umum katalisis, optik, dan elektronik (Rondinini *et al.*, 2009).

2.7 Spin Coating

Spin coating adalah salah satu metode penumbuhan lapisan tipis dengan kelebihan biaya rendah dan proses cepat. Proses *spin coating* menghasilkan lapisan tipis dengan tingkat homogen yang tinggi karena ketebalan lapisan dipengaruhi oleh waktu dan kecepatan putaran pada *spin coater*. Proses *spin coating* melibatkan 4 tahap untuk menentukan ketebalan akhir film tipis yaitu deposisi, *spin up*, *spin off*, dan tahap evaporasi. Tahapan pertama, cairan diteteskan di atas substrat dan diendapkan tanpa memutar substrat. Setelah substrat berputar, cairan didistribusi dari pusat ke tepi karena gaya sentrifugal. Ketika kecepatan rotasi mulai konstan sehingga tidak ada percepatan sudut di substrat. Saat berada dalam keadaan *spin off* cairan akan mencapai tepi substrat dan akan menjadi tetesan sampel yang terbuang di dinding *spin coater* sehingga menghasilkan lapisan tipis pada sampel. Tahapan terakhir adalah evaporasi yakni mekanisme utama dalam proses penipisan sampel (Fathoni et al., 2013).

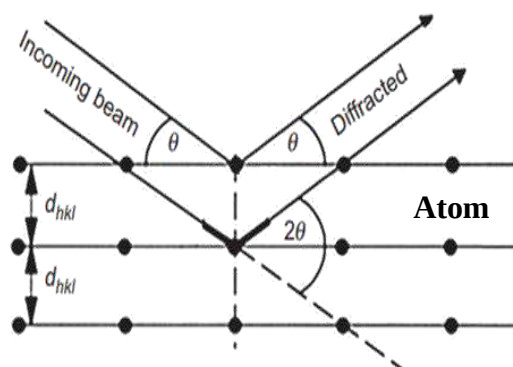
2.8 Karakterisasi Sampel

Metode karakterisasi sampel pada lapisan tipis Barium Titanat (BT) – Barium Zirkonium Titanat (BZT) adalah *X-Ray Diffractin* (XRD) untuk menentukan fasa kristal material, *Ultraviolet-Visible* (UV-Vis) untuk menganalisa absorpsi dan emisi radiasi material, *Field Emission Scanning Elektron Microscopy-Energy Dispersive X-ray* (FESEM-EDX) untuk melihat struktur mikro pada sampel, dan spektroskopi impedansi untuk mengamati nilai kapasitansi, konstanta dielektrik, dan kehilangan dielektrik dari material BT-BZT.

2.8. 1 Difraksi Sinar-X (XRD)

XRD adalah metode yang dilakukan tanpa merusak sampel yang sedang diuji dan memberikan informasi rinci tentang struktur kristal, pengukuran fase, pengukuran tegangan, dan pengukuran regangan sampel (Xu et al., 2023). Informasi yang diberikan oleh data XRD berupa struktur bahan pada tingkat atom yang terbagi menjadi dua fase yaitu satu fase kristal dan sisanya berbentuk amorf (Nasiri et al., 2023).

Karakterisasi XRD bertujuan untuk melihat sistem kristal sampel yang dapat berbentuk kubus, tetragonal, orthorombik, heksagonal, monoklin, dan triklin. Teknik difraksi elektron digunakan untuk menjelaskan parameter kisi susunan atom dan jenis kristal. Perbedaan pada setiap kristal akan terlihat seperti ketidaksempurnaan kristal, orientasi, ukuran butiran, dan berat jenis endapan. Ketika material terkena sinar-X, intensitas cahaya akan ditransmisi menjadi lebih rendah dibanding dengan intensitas yang akan datang akibat penyerapan oleh material dan atom yang tersebar pada material tersebut. Berkas sinar-X yang bersebaran akan menghasilkan interferensi yang berbeda yaitu interferensi konstruktif dan interferensi destruktif. Interferensi konstruktif adalah interferensi yang saling menguatkan karena memiliki fase yang sama dan interferensi destruktif adalah interferensi yang saling menghilangkan karena memiliki fase yang berbeda. Berkas sinar-X yang terhambur disebut dengan difraksi sinar-X. Sinar-X akan ditembakkan pada kristal dan terhambur ke segala arah sehingga membentuk sudut (2θ) berkas difraksi. Untuk mendapatkan interferensi gelombang yang konstruktif antara jarak lintasan dan sinar yang terhambur harus membentuk pola n pada λ seperti pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2. 4. Pola Difraksi Sinar-X (Modena et al., 2019)

Keadaan pada Gambar 2.4 menggambarkan interferensi konstruktif dimana membentuk sudut (2θ). Hukum yang membahas mengenai berkas difraksi ini disebut dengan hukum Bragg. Hukum Bragg menyatakan bahwa :*“perbedaan lintasan berkas difraksi sinar-X merupakan kelipatan dari panjang gelombang”*. Panjang gelombang sinar-X (λ), jarak antar kisi di dalam kristal (d_{hkl}), sudut difraksi yaitu sudut datang sinar (θ) dan orde difraksi (n) dengan $n = 1,2,3,4,\lambda$ seterusnya, maka hukum Bragg ditulis dengan Persamaan (2.1) berikut:

$$n\lambda = 2 d_{hkl} \sin \theta \quad (2.1)$$

Parameter kisi pada kristal tetragonal dengan dimensi $a=b \neq c$ maka jarak antar bidang pada sistem kristal dinyatakan dengan Persamaan (2.2)

$$\frac{1}{d_{hkl}^2} = \frac{h^2+k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (2.2)$$

Estimasi ukuran kristal dapat dihitung dengan Persamaan (2.3) yaitu Persamaan *Scherrer*

$$d \text{ (nm)} = \frac{k\lambda}{\beta \sin \theta} \quad (2.3)$$

(Suryanarayana & Norton, 1998).

2.8.2 Ultraviolet Visible (UV-Vis)

Karakterisasi spektrometer UV-Vis adalah metode yang menggabungkan elektromagnetik dan interaksi sampel untuk mendapatkan sifat dari suatu sampel. Interaksi elektromagnetik akan menghasilkan difusi reflektan, refleksi, emisi, absorpsi, dan hamburan elastis. Difusi reflektan adalah sumber cahaya yang akan berinteraksi dengan permukaan kristal tidak rata. Karakterisasi UV-Vis adalah teknik untuk mengetahui sifat serapan material, seperti reflektansi serapan untuk memperkirakan energi gap material semikonduktor (Khawiyatur, 2020).

Karakterisasi ini dianalisa dengan Persamaan Kubelka-Munk dengan Persamaan (2.4)

$$F(R) = \left(\frac{(1-R)^2}{2R} = \frac{K}{S} \right) = F(R) \quad (2.4)$$

Untuk menentukan energi celah pita dapat ditentukan menggunakan persamaan *Tauc Plot*.

$$(\alpha h\nu)^2 = A(h\nu - E_g) \quad (2.5)$$

$$[F(R)h\nu]^2 = A(h\nu - E_g) \quad (2.6)$$

Dengan h adalah konstanta Planck, ν adalah frekuensi, α adalah koefisien absorpsi, E_g adalah energi celah pita, A adalah konstanta proporsionalitas (Abdullahi et al., 2016)

Ketebalan lapisan sampel diperoleh dari karakterisasi UV-Vis dan dihitung menggunakan data transmitansi dengan pola interferensi dengan Persamaan (2.7).

$$d = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2 (\lambda_1 n_1 - \lambda_2 n_2)} \quad (2.7)$$

indeks bias (n) lapisan tipis ditentukan dengan Persamaan (2.8) (Saragih et al., 2010)

$$n = \sqrt{n + \sqrt{N^2 + n_s^2}} \quad (2.8)$$

$$N = 2n_s \frac{TM - Tm}{TMTm} + \frac{n_s^2 + 1}{2} \quad (2.9)$$

Spektroskopi UV-Vis berkaitan dengan absorpsi cahaya dalam proses eksitasi elektron terluar dalam pembentukan molekul. Metode ini disebut dengan spektroskopi elektronik. Karakterisasi UV-Vis umumnya melibatkan 3 mode yaitu transmitansi, reflektansi, dan fotoluminesensi. Metode transmitansi dan reflektansi dianggap perbandingan dan pengukuran fotoluminesensi dianggap pengukuran absolut (Khan et al., 2020).

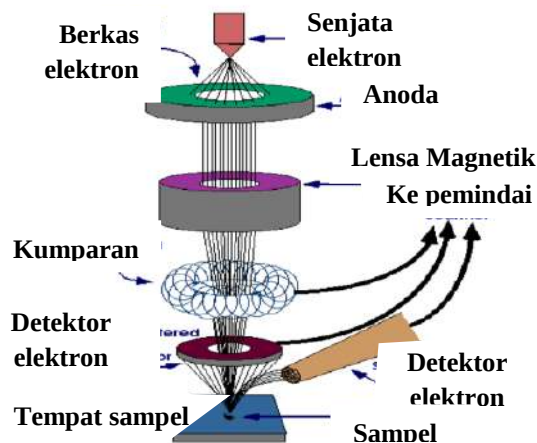
2.8.3 Field Emission Dispersif Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (FESEM-EDX)

FESEM adalah sumber emisi lapangan yang menggabungkan sumber elektron dengan kepadatan tinggi pada diameter yang sangat kecil. Lensa yang digunakan oleh mikroskop ini adalah lensa objektif aberasi rendah dengan desain lensa dalam atau lensa semi dalam. Kelebihan mikroskop FESEM adalah resolusi yang sangat tinggi dapat dicapai pada tegangan sangat rendah, hal ini membuat FESEM layak digunakan untuk sampel lembut dan halus seperti sampel biologis (Chiodoni et al., 2010).

Field Emission Scanning Elektron Microscopy (FESEM) dapat memeriksa titik kontaminasi area kecil pada tegangan menggunakan percepatan elektron dan memiliki bahan isolasi yang tidak perlu dilapisi dengan bahan konduktor. Gambar yang dihasilkan oleh FESEM tajam, torsi elektrostatis rendah, dan resolusi parsial yang lebih kecil sampai nanometer (Chiodoni et al., 2010).

Ilustrasi mekanisme FESEM ditunjukkan pada Gambar 2.5. Prinsip kerja dari FESEM adalah elektron dipancarkan dari sumber emisi medan dan dipercepat secara zig-zag dalam medan listrik tinggi melalui ruang hampa tinggi. Elektron primer difokuskan dan dibelokkan oleh lensa elektronik untuk menghasilkan sinar pindaian

sempit yang mengenai objek. Sistem FESEM dilengkapi dengan detektor yang berfungsi mendeteksi berbagai sinyal yang berbeda yaitu detektor *secondary electron* (SE) untuk informasi topografi dan detektor *back-scattered electron* (BSE) untuk kontras komposisi bahan (Senthil Prabhu et al., 2021).



Gambar 2. 5. Diagram Prinsip Kerja FESEM (Senthil Prabhu et al., 2021).

EDX merupakan metode analisis pada karakterisasi analitik atau bahan kimia dengan sistem yang umum dilakukan bersama dengan FESEM. karakterisasi *Energy Dispersive X-ray* (EDX) dilakukan untuk mengkarakterisasi sampel pada analisa lanjutan (Colpan et al., 2018). EDX digunakan untuk menganalisis unsur dan menentukan komposisi kimia dari sampel dalam ukuran nanometer. Komposisi unsur dalam EDX dinyatakan dengan data kuantitatif sebagai persentasi berat atom. Analisa EDX menghasilkan spektrum dengan menunjukkan puncak yang berkorelasi dengan unsur pada sampel (Rivero et al., 2021).

2.8.4 Karakterisasi Menggunakan Spektroskopi Impedansi

Spektroskopi impedansi adalah metode untuk mengukur sifat kelistrikan bahan berdasarkan jenis elektroda dan sifat antarmukanya. Metode ini menentukan dinamika sampel bermuatan yang bergerak melintasi antarmuka bahan padatan yang bersifat ionik, campuran ionik elektronik, semikonduktor, ataupun isolator. Pengukuran karakterisasi spektroskopi impedansi dilakukan untuk mengukur konduktivitas nilai ionik elektrolit yang mempengaruhi spektroskopi impedansinya. Pengukuran karakterisasi impedansi dilakukan dengan perangkat lunak *Zview*. Nilai impedansi total (R) diperoleh untuk menentukan konduktivitasnya. Datanya akan berupa grafik s

terhadap $1/T$, dan akan didapat nilai energi E_a dari konduktivitas ionik elektrolit ditentukan dari kemiringan plotnya. Pengukuran impedansi dilakukan pada apatit padat.

Spektroskopi Impedansi adalah karakterisasi yang diuji pada elektrolit sintesis untuk mengetahui konduktivitas listrik suatu bahan. Karakterisasi yang digunakan untuk memperoleh informasi terkait bahan, seperti apakah oksida hasil sintesis adalah konduktor ionik yang baik. Analisis spektroskopi impedansi umumnya menunjukkan bahwa bahan memiliki sifat yang sama yaitu memiliki tiga buah setengah lingkaran. jika hasil menunjukkan bagian frekuensi tinggi dan rendah, berarti bahan tersebut merupakan konduktor ionik yang baik. ketika suhu operasional meningkat, konduktivitas material akan meningkat pula seiring resistansi sebenarnya (Noviyanti et al., 2012).

Nilai resistansi dan kapasitansi perangkat ditentukan oleh karakterisasi dielektrik menggunakan spektroskopi impedansi kompleks. Alat yang digunakan adalah sistem Solarton-Schlumberger yang beroperasi pada frekuensi tertentu, yang akan memberikan nilai impedansi nyata dan impedansi imajiner. Nilai konstanta dielektrik dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.10):

$$\epsilon_r = \frac{c.d}{\epsilon_0 A} \quad (2.10)$$

Nilai kapasitansi kompleks (C^*) pada frekuensi tertentu diperoleh Persamaan (2.11):

$$C^* = \frac{1}{j\omega Z^*} \quad (2.11)$$

Pengukuran dengan spektroskopi impedansi memberi nilai frekuensi impedansi nyata (Z') dan impedansi imajiner (Z'') dimana nilai nilai pengukuran tersebut didapat dari nilai-nilai imedansi konjuget (Z^*) dengan Persamaan (2.12):

$$Z^* = \sqrt{(Z')^2 + (Z'')^2} \quad (2.11)$$

Nilai kapasitansi kompleks (C^*) pada frekuensi tertentu diperoleh Persamaan berikut :

$$C^* = \sqrt{(C')^2 + (C'')^2} \quad (2.13)$$

$$C' = \frac{Z'}{\omega(Z'^2 + Z''^2)} \quad (2.14)$$

$$C'' = \frac{jZ''}{\omega(Z'^2 + Z''^2)} \quad (2.15)$$

Nilai ϵ' dan ϵ'' dihitung menggunakan Persamaan berikut:

$$\epsilon' = \frac{\rho'}{\omega} = \frac{Z'A}{d} \quad (2.16)$$

$$\varepsilon'' = \frac{\rho''}{\omega} = \frac{Z''A}{d} \quad (2.17)$$

Nilai konstanta dielektrik dihitung menggunakan Persamaan (2.18) berikut:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon_0} \quad (2.18)$$

Nilai kehilangan dielektrik dihitung menggunakan Persamaan (2.19) berikut:

$$\tan\delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \quad (2.19)$$

Nilai konduktivitas didapatkan dengan Persamaan (2.20) berikut **(Yani et al., 2019)**.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2.20)$$

BAB III

SINTESIS DAN KARAKTERISASI FILM TIPIS BT-BZT

3.1 Sintesis Film Tipis BT-BZT

Pada bab III dalam penulisan ini dijelaskan tentang alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan sintesis film tipis BT-BZT. Prosedur sintesis bahan BT-BZT dengan menggunakan metode sol-gel, persiapan substrat dan *etching* substrat FTO.

3.1.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan tercantum pada Tabel 3.1 berikut:

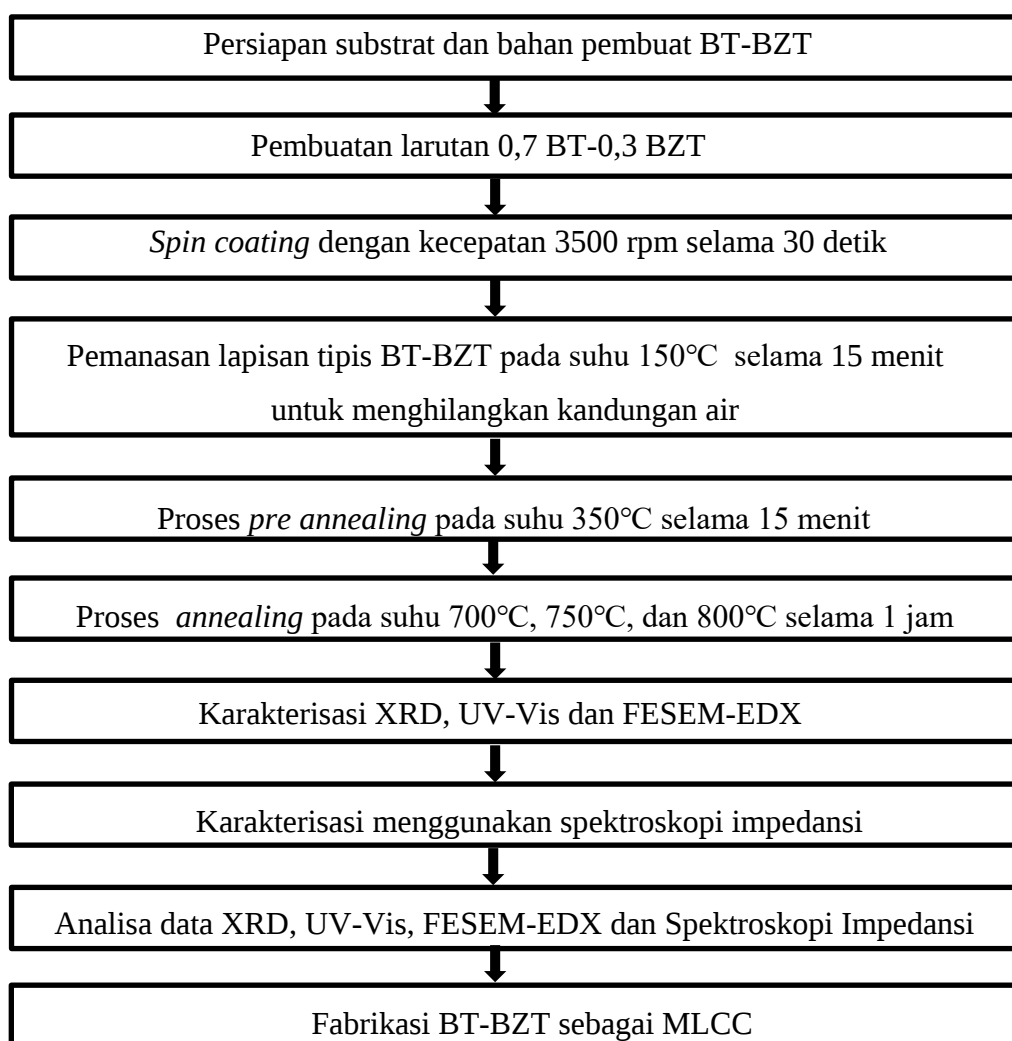
Tabel 3. 1. Alat dan Bahan yang Digunakan Beserta Fungsinya

No.	Alat dan Bahan	Fungsi
1.	<i>Ultrasonic Bath</i>	Alat untuk sonikasi botol dan substrat
2.	<i>Beaker Glass</i>	Alat untuk menampung larutan dan substrat dalam proses sonikasi
3.	Pinset	Alat untuk menjepit sampel
4.	Oven	Alat untuk memanaskan sampel
5.	Spatula	Alat untuk mengambil bahan-bahan yang berbentuk bubuk
6.	Timbangan	Alat untuk menimbang bahan-bahan sintesis
7.	Mikropipet	Alat untuk mengambil larutan kimia
8.	<i>Magnetic stirrer</i>	Alat untuk mengaduk larutan
9.	<i>Hot plate</i>	Alat untuk memanaskan sampel
10.	<i>Spin coater</i>	Alat untuk membuat lapisan tipis yang merata pada substrat FTO
11	<i>Furnace</i>	Alat untuk <i>annealing</i> sampel
12	<i>X-Ray Diffractrometer</i>	Alat Untuk menguji karakterisasi XRD
13	Spektrofotometer Uv-Vis	Alat untuk menguji karakterisasi Spektroskopi Uv-Vis
14	FE-SEM	Alat untuk menguji Karakterisasi FESEM-EDX
15	<i>Spectroscopy</i> (Solarton-schlumberger model 1255)	Alat untuk menguji spektroskopi impedansi
16	<i>Titanium dioksida</i> (TiO ₂)	Bahan untuk membuat larutan BT-BZT
17	<i>Zirconium dioksida</i> (ZrO ₂)	Bahan untuk membuat larutan BZT
19	<i>Barium carbonat</i> (BaCO ₃)	Bahan untuk membuat larutan BT-BZT
20	Bubuk zinc	Bahan untuk <i>etching</i> sampel
21	<i>Alcohol 95%</i>	Bahan untuk sonikasi
22	Aqua DM	Bahan untuk sonikasi
23	<i>Acetone</i>	Bahan untuk sonikasi
24	<i>Acetil acetone</i> (C ₅ H ₈ O ₂)	Larutan untuk pencampuran bahan
25	<i>Acetil acid</i> (C ₂ H ₄ O ₂)	Larutan untuk pencampuran bahan
26	<i>Etilen Glikol</i>	Larutan untuk pencampuran bahan

No.	Alat dan Bahan	Fungsi
27	HCL 2M	Larutan untuk <i>etching</i> sampel
28	Substrat FTO	Media dalam penumbuhan lapisan tipis

3.1.2 Prosedur sintesis BT-BZT

Diagram alir adalah diagram yang bertujuan untuk membuat pelaksanaan sintesis sampel menjadi lebih mudah secara sistematis. Sintesis sampel ini dilakukan menggunakan metode sol gel dan karakterisasi yang dilakukan menggunakan metode XRD, FESEM-EDX, UV-Vis, dan spektroskopi impedansi. Gambar 3.1 di bawah ini menjelaskan bagaimana diagram alir yang dilakukan.



Gambar 3. 1. Diagram Alir Sintesis BT-BZT

3.1.3 Persiapan Substrat

Substrat adalah media yang digunakan untuk menumbuhkan film tipis $(0,7)\text{BaTiO}_3$ - $(0,3)\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$, $(0,8)\text{BaTiO}_3$ - $(0,2)\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$, dan $(0,9)\text{BaTiO}_3$ - $(0,1)\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$. Substrat yang digunakan adalah substrat *Fluorine Tini Oxide* (FTO). Tahapan pertama dalam persiapan substrat adalah memotong substrat menggunakan *diamond cutter* dengan ukuran 1 cm x 2 cm. substrat yang digunakan untuk media penumbuhan lapisan BT-BZT harus dibersihkan untuk menghilangkan kotoran-kotoran seperti zat yang menempel. Pembersihan dilakukan melalui beberapa tahap, antara lain:

1. Substrat dicuci dengan sabun dan dibersihkan dengan *cotton bud* lalu bilas dengan air bersih. Pencucian ini bertujuan agar kotoran dan lemak berukuran makro dapat hilang pada substrat tersebut.
2. Setelah substrat dibersihkan, masukkan substrat ke dalam *beaker glass* yang telah diisi Aqua DM dan dilanjutkan dengan proses sonikasi menggunakan *ultrasonic bath* selama 5 menit. Larutan Aqua DM dibuang dan substrat dikeluarkan dari *beaker glass*, substrat tersebut selanjutnya dikeringkan menggunakan oven.
3. Proses sonikasi dilakukan kembali dengan tahapan yang sama tetapi menggunakan larutan alkohol 95% dan dilanjutkan dengan pengeringan substrat menggunakan oven.
4. Setelah substrat melewati proses sonikasi dan pengeringan, substrat harus disimpan di dalam *cup* kecil dengan tujuan tetap bersih dan tidak terkontaminasi dengan kotoran yang ada di luar.

3.1.4 Etching Substrat FTO Bagian Tengah

Proses *etching* substrat FTO dibagian tengah hanya dilakukan pada karakterisasi spektroskopi impedansi. Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam proses *etching* adalah HCL 2M, bubuk *zinc*, *cotton bud*, dan selotip anti elsa. Selotip diletakkan di ujung-ujung substrat FTO yang telah dipersiapkan sebelumnya, kemudian bubuk *zinc* ditabur di atas substrat FTO dan ditetesi oleh larutan HCL 2M sampai menutupi permukaan yang tersisa. Substrat FTO yang telah ditabur oleh bubuk *zinc* dan HCL kemudian didiamkan selama 8 sampai 10 menit dan digosok dengan *cotton bud* agar proses *etching* dapat berhasil. Proses *etching* yang terakhir adalah membersihkan substrat menggunakan Aqua DM dan dikeringkan dengan oven selama 15 menit.

3.1.2 Penyediaan Bahan BT dan BZT

Bubuk Barium Karbonat (BaCO_3), Zirkonium dioksida (ZrO_2) dan Titanium Dioksida (TiO_2) disiapkan.

komposisi yang diperlukan untuk $(0,7)\text{BaTiO}_3$ -($0,3$) $\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$ adalah :

1. Bahan BT menggunakan BaCO_3 sebanyak 1,728 gram dan TiO_2 sebanyak 2 gram.
2. Bahan BZT menggunakan BaCO_3 sebanyak 0,272 gram, ZrO_2 sebanyak 0,443 gram dan TiO_2 sebanyak 0,262 gram.

Komposisi yang diperlukan untuk $(0,8)\text{BaTiO}_3$ -($0,2$) $\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$ adalah :

1. Bahan BT menggunakan BaCO_3 sebanyak 1,975 gram dan TiO_2 sebanyak 2 gram.
2. Bahan BZT menggunakan BaCO_3 sebanyak 0,025 gram, ZrO_2 sebanyak 0,053 gram dan TiO_2 sebanyak 0,031 gram.

Komposisi yang diperlukan untuk $(0,9)\text{BaTiO}_3$ -($0,1$) $\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$ adalah :

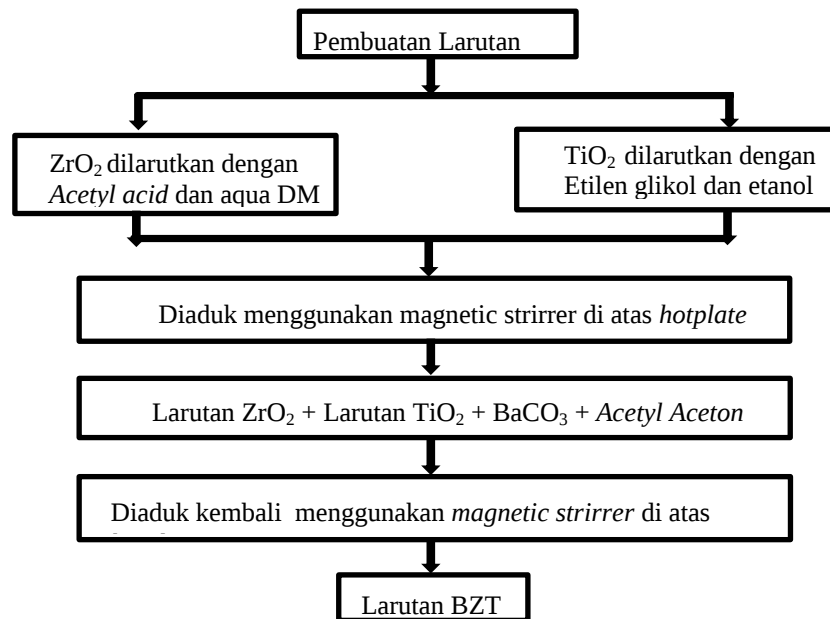
1. Bahan BT menggunakan BaCO_3 sebanyak 0,247 gram dan TiO_2 sebanyak 2 gram.
2. Bahan BZT menggunakan BaCO_3 sebanyak 0,753 gram, ZrO_2 sebanyak 0,287 gram dan TiO_2 sebanyak 0,169 gram.

Seluruh bahan ditimbang menggunakan timbangan digital.

3.1.3 Pembuatan Larutan BZT dengan Metode Sol-Gel

Bahan pembuatan larutan BZT yang telah ditimbang sebelumnya yakni bahan Barium Karbonat (BaCO_3), Zirkonium Dioksida (ZrO_2), dan Titanium Dioksida (TiO_2) kemudian dicampur dengan pelarutnya. Bahan ZrO_2 dilarutkan dengan 3 ml *acetyl acid* dan 2 ml Aqua DM, TiO_2 dilarutkan dengan 3 tetes *acetyl acetone*. Bubuk ZrO_2 dan TiO_2 yang telah dilarutkan dicampur dan ditambahkan dengan bubuk BaCO_3 yang kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 2 jam dengan laju putaran 250 rpm. Pengerjaan ini dilakukan di atas *hot plate* dengan suhu $31,6^\circ\text{C}$ sampai larutannya jernih dan terbentuklah BZT solven. Diagram alur pembuatan larutan dapat dilihat pada Gambar 3.2. Komposisi massa dari bahan BZT dilakukan dengan Persamaan stoikiometri (reaksi kimia) sebagai berikut:





Gambar 3. 2. Diagram pembuatan larutan BZT

3.1.4 Pembuatan Larutan BT Menggunakan Metode Sol-Gel

Bahan BaCO₃ dan TiO₂ yang telah ditimbang kemudian dicampurkan dengan pelarutnya. Bubuk TiO₂ dilarutkan dengan *etylen glikon* dan *etanol*. Bubuk dan pelarutnya diaduk menggunakan *magnetic stirrer* di atas *hot plate*. Larutan TiO₂ yang telah dilarutkan kemudian ditambahkan dengan BaCO₃ dan 3 tetes larutan *etylen glikon* yang kemudian diaduk kembali menggunakan *magnetic stirrer* di atas *hotplate* selama 2 jam pada suhu 31,6 °C sehingga larutan menjadi jernih dan terbentuklah larutan BT solven. Komposisi BT ditentukan oleh Persamaan stoikiometri (reaksi kimia berikut) :

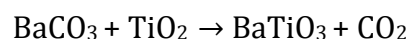
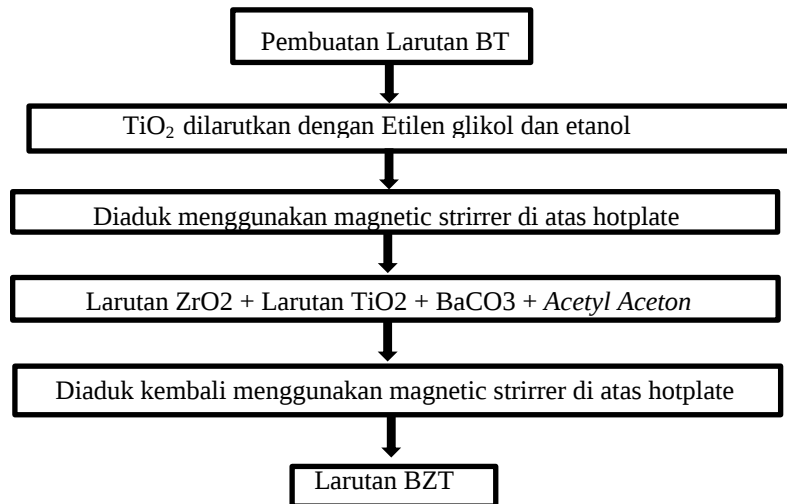


Diagram pada Gambar 3.3 berikut menunjukkan diagram alur pembuatan BT.



Gambar 3. 3. Diagram Pembuatan Larutan BT

3.1.5 Pencampuran Larutan BZT dan BT

Larutan BZT dan Larutan BT yang telah dipersiapkan dimasukkan ke dalam *beaker glass*. Kedua larutan tersebut kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* di atas *hot plate* hingga larutan menjadi jernih dan terbentuklah larutan campuran BT-BZT.

3.1.6 Proses *Spin Coating*

Proses *spin coating* dilakukan dengan meneteskan larutan BT-BZT sebanyak 3 tetes pada substrat FTO yang telah diletakkan di alat *spin coater*. Substrat yang telah ditetesi oleh larutan BT-BZT kemudian diputar di *spin coater* dengan kecepatan 3500 rpm selama 30 detik.

3.1.7 Pemanasan Lapisan Tipis BT-BZT pada Substrat

Larutan yang telah melalui proses *spin coating* kemudian dipanaskan menggunakan oven dengan suhu 150°C selama 30 menit. Tujuan dari pemanasan lapisan tipis ini adalah menghilangkan zat-zat pengotor seperti air (H₂O) dan gas (CO₂) yang melekat pada sampel.

3.1.8 Proses *Annealing*

Proses *annealing* adalah proses yang bertujuan untuk membentuk struktur kristalin pada film tipis BT-BZT yang dibuat. Proses *annealing* ini dilakukan dengan memasukkan sampel ke dalam tungku pemanas (*furnace*). Sampel yang dipanaskan harus melewati proses *pre annealing* pada *furnace* dengan suhu 300°C selama 30 menit. Proses *pre annealing* ini bertujuan menghilangkan zat-zat yang mengkontaminasi sampel sebelumnya. Setelah *pre annealing* dilakukan, proses selanjutnya adalah *annealing*

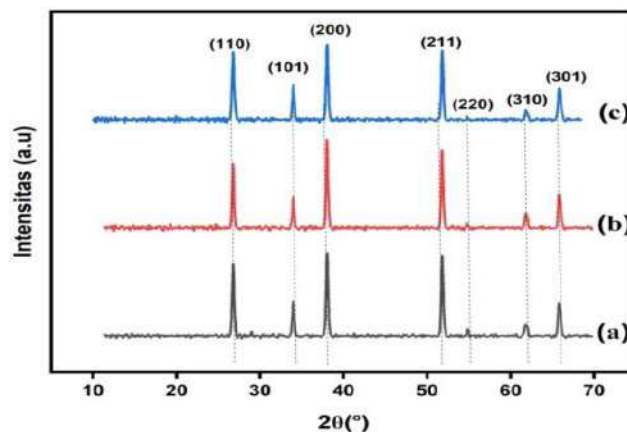
sampel dengan variasi suhu 700°C, 750°C, dan 800°C masing-masing selama 1 jam di dalam *furnace*.

3.2 Karakterisasi Film Tipis BT-BZT

3.2.1 X-Ray Diffraction (XRD)

- **Karakterisasi Difraksi Sinar-X (XRD) Komposisi (0,7)BaTiO₃-(0,3)BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O₃**

Analisa dengan karakterisasi XRD BT-BZT dilakukan di atas substrat kaca dengan menampilkan grafik dari puncak-puncak intensitas terhadap sudut. Pengolahan data pada karakterisasi XRD menggunakan *software* Origin. Analisa dengan karakterisasi XRD menghasilkan pola difraksi sinar-X dengan memberikan informasi mengenai struktur kristal yang terdapat di dalam sampel BT-BZT700, BT-BZT750, dan BT-BZT800. Spektrum dari difraksi sinar-X ini dapat dilihat pada Gambar 3.4.



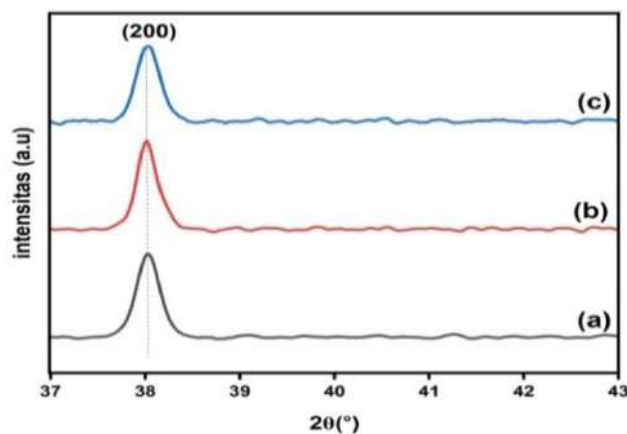
Gambar 3. 4. Pola XRD Sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c) BT-BZT800

Gambar 3.4 memperlihatkan jika sampel terbentuk bersifat kristalin dengan spektrum difraksi dari sinar-X menghasilkan 7 puncak karakteristik yang menunjukkan fasa kristalin BT-BZT. Intensitas yang lebih tinggi menunjukkan kristalinitas yang lebih baik. Puncak difraksi memiliki sudut yang berbeda-beda dari bidang hkl seperti pada tabel 4.2 pola dari difraksi sinar-X yang dihasilkan kemudian dicocokkan dengan data *Join Committee on Power Diffraction* (JCDPS) dengan nomor kode 00-021-1250, 00-041-1445, dan 00-036-0019 dan terlihat jika struktur kristal yang terbentuk membentuk sudut tetragonal (Lukong et al., 2022).

Tabel 3. 2. Bidang hkl Sudut 2 θ Sampel BT-BZT pada Puncak Difraksi

Bidang hkl	2 θ (°)		
	BT-BZT700	BT-BZT750	BT-BZT800
110	26.7817	26,7386	26,8012
101	33.9399	33,9495	34,0009
200	38.0309	38,0057	37,9926
211	51.7583	51,7648	51,7504
220	54.8399	54,7583	54,8227
310	61.7618	61,8043	61,7962
301	65.7364	65,7531	65,7561

Sampel BT-BZT menghasilkan intensitas difraksi yang tinggi dan puncak difraksi yang tajam sehingga sampel memiliki kristanilitasnya tinggi. Puncak tertinggi pada sampel BT-BZT terdapat pada bidang orientasi (200) yang digunakan untuk mendapatkan nilai dari FWHM seperti pada Gambar 4.3. Puncak difraksi pada bidang kristal (200) menunjukkan bahwa puncak dengan intensitas tertinggi pada suhu 700°C dan sampel dengan intensitas paling rendah pada suhu 800°C.

**Gambar 3. 5. Puncak tertinggi pada pola XRD BT-BZT pada bidang (200)**

Parameter kisi pada sampel BT-BZT ditentukan dengan rumus hubungan antara d , hkl , dan a, b, c dengan jenis kristal tetragonal. Ukuran kristal ditentukan menggunakan persamaan *scherrer* (Pers. 2.3) dengan analisis *reports* menggunakan *software highscore*. untuk mencari parameter kisi dan ukuran kristal ditentukan dari puncak tertinggi seperti disajikan oleh Tabel 3.3 berikut

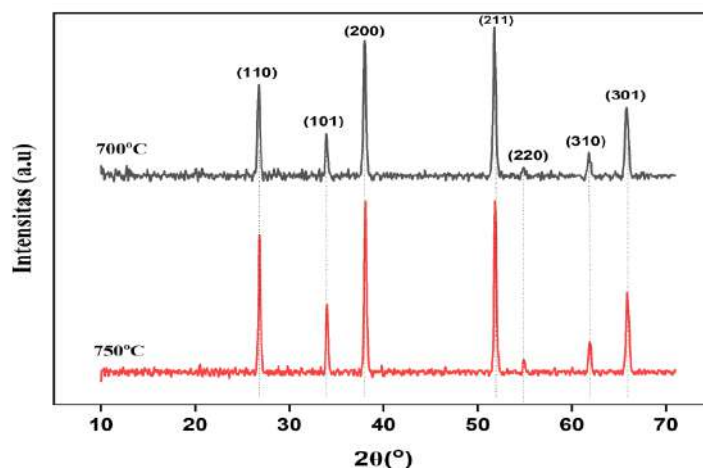
Tabel 3. 3. Parameter kisi, Nilai FWHM dan Ukuran Kristal Sampel BT-BZT bidang hkl (200)

Sampel	2 θ	d(Å)	a=b (Å)	c (Å)	FWHM (derajat)	Ukuran Kristal (nm)
BT- BZT700	38.0309	2.36612	4,7380	3,1880	0.2047	41,0494
BT- BZT750	38,0057	2.36763	4,7382	3,1871	0.1536	54,7015
BT- BZT800	37,9926	2,36842	4,0520	4,0520	0,1279	65,6908

Dari perhitungan ini diperoleh besar parameter kisi dari dari ukuran kristal pada sampel BT-BZT. Nilai FWHM pada sampel BT-BZT700 adalah 0,2047°, pada sampel BT-BZT750 adalah 0,1536°, dan pada sampel BT-BZT800 0,1279°. perbedaan nilai FWHM dan nilai sudut (2 θ) pada masing-masing sampel menyebabkan ukuran kristalnya menjadi berbeda pula. Ukuran kristal yang didapat pada sampel BT-BZT pada suhu 700°C, 750°C, dan 800°C adalah 41,0494 nm, 54,7015 nm, dan 65,6908 nm. Hal ini selaras dengan yang dilakukan oleh Lukong (2022) yang menggunakan sampel TiO₂ dengan variasi suhu 400°C, 600°C, dan 800°C sehingga ukuran kristal yang dihasilkan secara berturut-turut adalah 4,19 nm, 18,29 nm, dan 22,78 nm, dan juga serupa juga dilakukan oleh Kaushik (2023) yang menggunakan sampel BaTiO₃ dengan variasi suhu yang digunakan adalah 600°C dan 650°C dan ukuran kristal yang didapatkan adalah 19,44 nm dan 23,60 nm.

- **Karakterisasi Difraksi Sinar-X Komposisi (0,8)BaTiO₃--(0,2)BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O₃**

Analisa karakterisasi menggunakan XRD akan menghasilkan pola difraksi sinar-X yang nantinya akan memberi informasi tentang fasa kristal yang terdapat pada sampel yang ditampilkan dalam grafik dari puncak – puncak intensitas terhadap sudut. Karakterisasi XRD bertujuan untuk mengetahui parameter kisi, jarak antar bidang dan struktur kristal. Pola difraksi sinar-X dianalisa untuk menentukan struktur kristal dari sampel BT-BZT700, BT-BZT750, dan BT-BZT800. Spektrum difraksi sinar-X dari sampel dapat dilihat pada Gambar 3.6



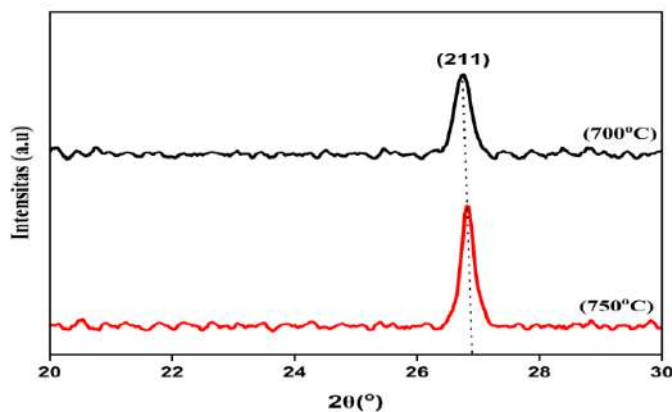
Gambar 3. 6. Pola XRD Sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c) BT-BZT800

Gambar 3.6 merupakan data XRD berupa grafik hubungan antara intensitas dengan sudut difraksi (2θ) yang di *annealing* pada suhu 700°C dan 750°C. Spektrum difraksi sinar-X sampel BT-BZT menampilkan sampel bersifat kristalin terdapat tujuh puncak difraksi yang muncul dengan bidang hkl (110), (101), (200), (211), (220), (310) dan (301). Intensitas yang lebih tinggi menunjukkan sampel memiliki kristalinitas yang lebih baik. Puncak difraksi memiliki sudut 2θ yang berbeda-beda dari bidang hkl terlihat pada Tabel 4.3. Puncak-puncak XRD dianalisa menggunakan *software Origin*. Pola difraksi sinar-X yang dihasilkan kemudian dicocokkan dengan data Joint Committee on Power Diffraction (JCDPS) dengan nomer kode 01-070-4409 dan 01-070-4411 dan memberikan informasi bahwa sampel BT-BZT terbentuk struktur kristal tetragonal.

Tabel 3. 4. Bidang hkl sudut 2θ sampel BT-BZT pada puncak difraksi

Bidang hkl	2θ (°)			
	BT-BZT 700	BT-BZT 750	700°C	750°C
(110)	26,833	26,665	100	100
(101)	34,503	34,078	68	72
(200)	38,311	38,067	18	19
(211)	52,501	52,007	49	50
(220)	55,298	54,930	12	12
(310)	62,507	62,081	9	10
(301)	66,834	66,243	13	13

Sampel BT-BZT menampilkan puncak difraksi yang tajam dan memiliki intensitas tinggi menunjukkan bahwa sampel memiliki kristalinitas yang tinggi. Puncak tertinggi dari sampel BT-BZT didapat pada bidang orientasi (211) digunakan untuk mendapatkan besar FWHM. Puncak difraksi pada bidang kristal (211) menunjukkan bahwa puncak dengan intensitas tertinggi didapat dari sampel yang *diannealing* pada suhu 750°C. XRD pada Gambar 3.6 tidak memperlihatkan munculnya puncak BT-BZT800, hal ini disebabkan oleh sulitnya terbentuk struktur kristal dengan penggunaan temperatur *annealing* dan waktu *annealing* yang belum optimal. (Darvina, 2008).



Gambar 3. 7. Puncak tertinggi pada pola XRD BT-BZT pada bidang (211)

Parameter kisi dari sampel BT-BZT ditentukan menggunakan hubungan antara jarak antar bidang dengan jenis kristal tetragonal sedangkan ukuran kristal ditentukan dengan menggunakan Persamaan Scherrer (2.3). Parameter kisi dan ukuran kristal ditentukan dari puncak tertinggi seperti diperlihatkan pada Tabel 3.5

Tabel 3. 5. Parameter kisi, nilai FWHM dan ukuran kristal sampel BT-BZT bidang hkl (211) pada suhu 700°C dan 750°C

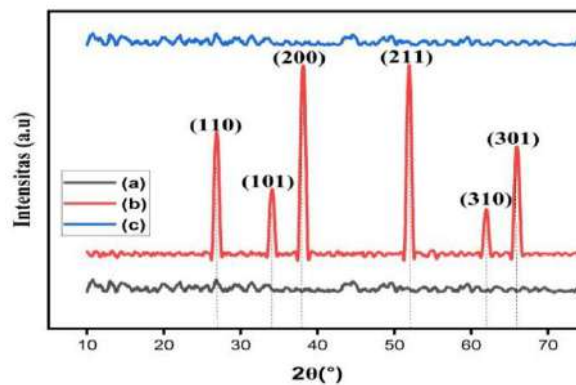
Sampel	2θ	d(Å)	a=b (Å)	c (Å)	FWHM (derajat)	Ukuran Kristal (nm)
700°C	52,501	1,7641	4,6950	3,1180	0,2303	364,8643
750°C	52,007	1,7569	4,7240	3,1640	0,1279	656,9342

Tabel 3.5 menunjukkan parameter kisi $a = b \neq c$, seiring dengan penambahan suhu *annealing* maka parameter kisi a dan b semakin besar disebabkan karena penambahan suhu *annealing*. Bertambahnya suhu annealing maka puncak difraksi semakin tinggi, dengan intensitas yang tinggi maka tingkat kekristalan yang semakin tinggi pula menunjukkan tingkat kristal yang semakin baik (Arshad *et al.*, 2020). Tabel 3.5 menampilkan intensitas semakin tinggi seiring dengan penambahan suhu *annealing*

pada orientasi bidang hkl. Tabel 3.5 menunjukkan semakin tinggi suhu *annealing* maka ukuran partikel semakin besar. Hubungan antara penambahan suhu *annealing* terhadap FWHM dan ukuran partikel adalah semakin tinggi suhu *annealing* maka nilai FWHM semakin kecil, hal ini berpengaruh terhadap ukuran partikel kristal. Semakin kecil FWHM maka ukuran partikel kristal semakin besar, hal ini berhubungan dengan parameter kisi yang semakin besar seiring dengan penambahan suhu *annealing*. Ukuran partikel kristal yang meningkat seiring dengan penambahan suhu *annealing* disebabkan oleh semakin besar energi termal yang diterima (Dahbi *et al.*, 2021).

- **Karakterisasi Difraksi Sinar-X Komposisi (0,9)BaTiO₃-(0,1)BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O₃**

Analisa karakterisasi menggunakan XRD akan menghasilkan pola difraksi sinar-X yang nantinya akan memberi informasi tentang fasa kristal yang terdapat pada sampel yang ditampilkan dalam grafik dari puncak-puncak intensitas terhadap sudut. Karakterisasi XRD bertujuan untuk mengetahui parameter kisi, jarak antar bidang dan struktur kristal. Pola difraksi sinar-X dianalisa untuk menentukan stuktur kristal dari sampel BT-BZT700, BT-BZT750, dan BZ-BZT800. Spektrum difraksi sinar-X sampel dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 3. 8. Pola XRD sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c) BT-BZT800

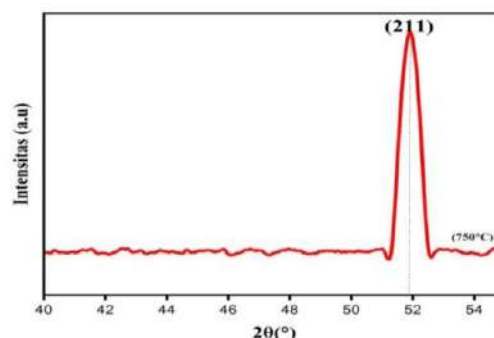
Gambar 3.8 memperlihatkan jika sampel terbentuk bersifat kristalin dengan spektrum difraksi dari sinar-X menghasilkan 6 puncak karakteristik yang menunjukkan fasa kristalin BT-BZT. Intensitas yang lebih tinggi menunjukkan kristalinitas yang lebih baik. Puncak difraksi memiliki sudut yang berbeda-beda dari bidang hkl seperti pada tabel 3.6 Pola difraksi sinar-X yang dihasilkan kemudian dicocokkan dengan data *Join*

Commite on Power Diffraction (JCDPS) dengan nomor kode 01-070-4177 dan terlihat jika struktur kristal yang terbentuk membentuk sudut tetragonal . (Lukong et al., 2022).

Tabel 3. 6. Bidang hkl sudut 2θ sampel BT-BZT pada puncak difraksi

Bidang hkl	2θ (°)	
	BT-BZT 700	Intensitas
(110)	26,833	100
(101)	34,503	77
(200)	38,311	22
(211)	52,501	52
(310)	62,507	11
(301)	66,834	12

Sampel BT-BZT menghasilkan intensitas difraksi yang tinggi dan puncak difraksi yang tajam sehingga sampel memiliki kristanilitasnya tinggi. Puncak tertinggi pada sampel BT-BZT terdapat pada bidang orientasi (211) yang digunakan untuk mendapatkan nilai dari FWHM seperti pada Gambar 3.9. Puncak difraksi pada bidang kristal (211) menunjukkan bahwa puncak dengan intensitas tertinggi pada suhu 750°C. XRD pada Gambar 3.9 tidak memperlihatkan puncak BTBZT 700 dan BT-BZT 800 hal ini disebabkan oleh rendahnya kristalinitas film dan intensitas yang rendah dapat dikaitkan dengan peningkatan interaksi material substrat yang disebabkan oleh penumpukan material yang diendapkan secara acak. Peningkatan suhu annealing hingga 500 °C mengakibatkan munculnya puncak difraksi dan rendahnya kristanilitas atau kontribusi fase amorf dari substrat (Timoumi,2020).



Gambar 3. 9. Puncak tertinggi pada pola XRD BT-BZT pada bidang (211)

Parameter kisi pada sampel BT-BZT ditentukan dengan rumus hubungan d , hkl , dan a , b, c dengan jenis kristal tetragonal. Ukuran kristal ditentukan menggunakan persamaan *scherrer* (Pers 2.3) dengan analisis *reports* menggunakan *software highscore* untuk mencari parameter kisi dan ukuran kristal ditentukan dari puncak tertinggi seperti disajikan oleh Tabel 3.7.

Tabel 3. 7. Parameter kisi, Nilai FWHM dan Ukuran Kristal Sampel BT-BZT bidang hkl (211)

Sampel	2θ	$d(\text{\AA})$	$a=b(\text{\AA})$	$c(\text{\AA})$	FWHM (derajat)	Ukuran Kristal (nm)
750	51,9083	1,7615	4,7350	3,1840	0,2558	375,6

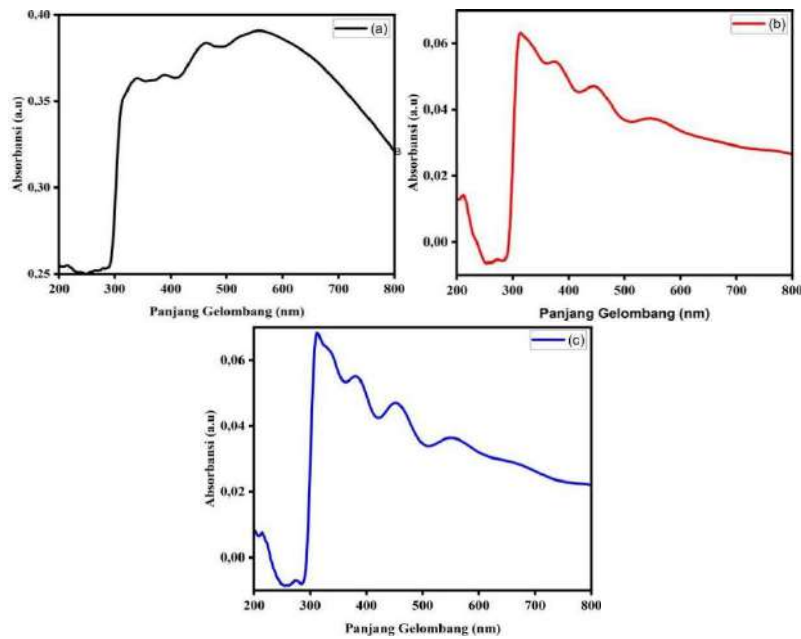
3.2.2 Karakterisasi *Ultraviolet Visible* (UV-Vis)

- **Karakterisasi *Ultraviolet-visible* Komposisi (0,7)BaTiO₃-(0,3)BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O₃**

Analisa menggunakan karakterisasi spektroskopi *Ultraviolet Visible* (UV-Vis) menghubungkan spektrum absorbansi sebagai fungsi gelombang 250-900 nm seperti Tabel 3.8 dan Gambar 3.10. Puncak serapan optik pada sampel BT-BZT700, BT-BZT750, dan BT-BZT800 diperoleh pada panjang gelombang 321 nm, 312 nm dan 305 nm. Hal ini sesuai dengan yang dilakukan oleh Kaushik **(2023)** yakni puncak dari nilai absorbansi berada pada range 200-800 nm dengan menggunakan variasi suhu 500°C, 550°C, dan 600°C pada sampel BaTiO₃. Gambar 3.10 menunjukkan jika peningkatan suhu menyebabkan Peningkatan suhu *annealing* sehingga puncak absorbansi bergeser ke kiri. Hal ini selaras dengan pernyataan yang disampaikan oleh **(Alluqmani et al., 2021)** serapan akan bergeser ke panjang gelombang yang lebih rendah. Nilai absorbansi ditunjukkan oleh Tabel 3.8.

Tabel 3. 8. Nilai Penyerapan Optik Sampel BT-BZT

Sampel	Absorbansi (counts)	Panjang Gelombang (nm)
BT-BZT700	0,244 a.u	321
BT-BZT750	0,283 a.u	312
BT-BZT800	0,302 a.u	305



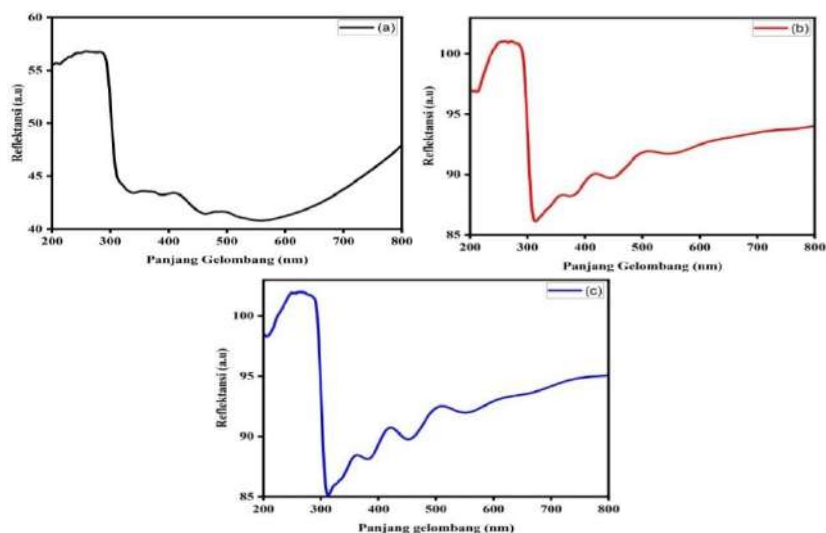
Gambar 3. 10. Spektrum Absorbansi Sampel (a) BT-BZT700, (b) BT-BZT750 (c)BT-BZT800

Nilai absorbansi ditunjukkan oleh Tabel 3.9.

Tabel 3. 9. Nilai Penyerapan Optik Sampel BT-BZT

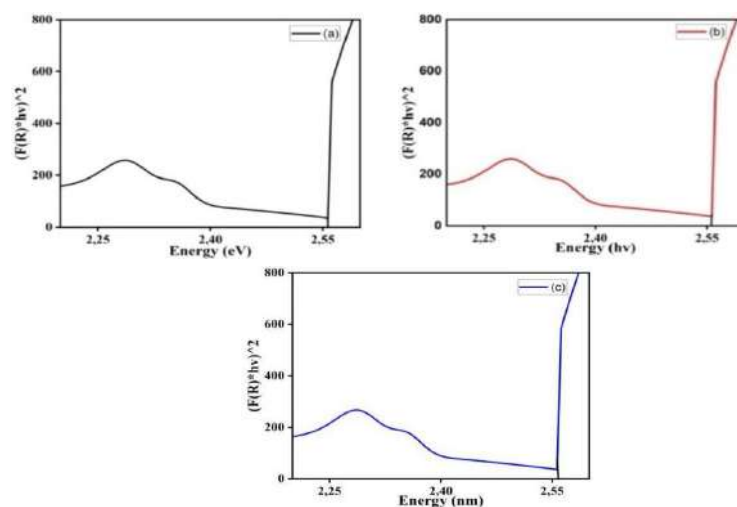
Sampel	Absorbansi (counts)	Panjang Gelombang (nm)
BT-BZT700	0,244 a.u	321
BT-BZT750	0,283 a.u	312
BT-BZT800	0,302 a.u	305

Gambar 3.11 menunjukkan jika kurva reflektansi UV-Vis dari struktur nano BT-BZT yang di *annealing* oleh suhu 700°C, 750°C, 800°C akan bergeser ke kiri seiring dengan peningkatan suhu *annealing*. Peningkatan suhu *annealing* pada spektroskopi UV-Vis akan bergeser terhadap panjang gelombang yang lebih rendah (Alluqmani et al., 2021). Hal ini sesuai dengan yang dilakukan oleh Lukong et al., (2022) menggunakan sampel TiO₂ dengan suhu *annealing* 400°C, 600°C, dan 800°C mendapatkan nilai penyerapan panjang gelombang 420 nm ke bawah. Hal ini membuktikan bahwa suhu *annealing* yang berbeda dapat menyerap spektrum cahaya tampak yang tinggi.



Gambar 3. 11. Reflektansi UV-Vis pada Sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750(c)BT- BZT800

Nilai reflektansi berpengaruh terhadap energi celah pita atau *energy gap*. Energi celah pita merupakan lebar celah pita valensi atau pita valensi dan pita konduksi dimana energi celah pita ini tidak boleh diisi dengan pita konduksi. Semakin kecil energi celah pita maka elektron akan semakin mudah untuk berpindah dari pita valensi ke pita konduksi. Energi celah pita yang bernilai besar disebabkan oleh elektron yang sulit lepas pada ion yang terionisasi. Nilai energi celah pita dihitung dengan persamaan Kubelka Munk pada persamaan (4.4). nilai energi pita ini dilakukan dengan membuat plot antara energi foton ($h\nu$) pada sumbu x dan $(F(R).h\nu)^2$ untuk sumbu y. Sehingga kurva yang didapatkan seperti Gambar 3.12berikut:

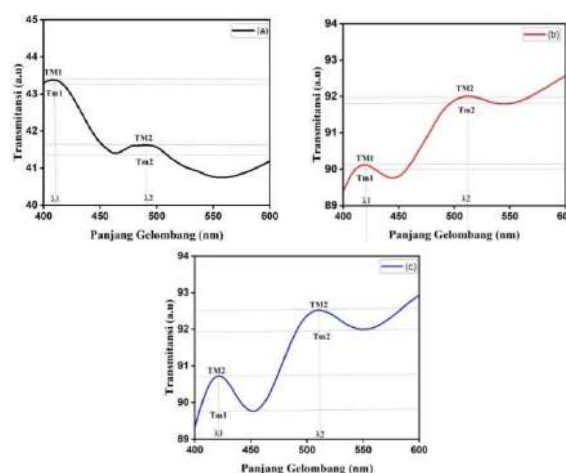


Gambar 3. 12. Penentuan Energi Celah Pita dengan Hubungan Energi ($h\nu$) terhadap $(F(R).h\nu)^2$ pada pada Sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c)BT-BZT800

Nilai energi celah pita yang diperoleh pada variasi suhu *annealing* 700°C, 750°C, 800°C, adalah 2,558 eV, 2,557 eV, dan 2,556 eV. Pada Gambar 4.10 berikut menunjukkan jika semakin tinggi suhu *annealing* maka suhu energi celah pita akan semakin berkurang. Akibatnya, elektron akan semakin mudah berpindah dari pita valensi ke pita konduksi. Hal ini selaras dengan yang dilakukan oleh Lukong et al., (2022) yang membuat lapisan tipis menggunakan sampel Titanium dioksida (TiO₂) dengan variasi suhu *annealing* 400 °C dan 800°C sehingga nilai energi celah pita yang didapatkan adalah 3,39 eV menjadi 3,20 eV. Energi celah pita yang didapatkan ini juga dilakukan oleh Ilsatoham et al., (2023) dimana membuat lapisan tipis dengan sampel Bismut Oksida (Bi₂O₃) dengan variasi suhu *annealing* yang digunakan adalah 150°C, 250°C, 350°C, dan 450°C sehingga energi celah pita yang didapatkan dalamnya adalah 2,78 eV, 2,74 eV, 2,37 eV, 2,35 eV.

Berdasarkan dengan nilai energi celah pita yang telah didapatkan membuktikan jika semakin tinggi suhu pada sampel maka energi celah pita yang didapatkan akan semakin menurun. Peningkatan suhu *annealing* menyebabkan perubahan fase kristal, penurunan ukuran kristal, dan perubahan morfologi permukaan yang menyebabkan peningkatan nilai celah pita dalam film tipis. Penyempitan pada energi celah pita menyebabkan kesenjangan antara pita konduksi dan pita valensi sehingga elektron akan mudah untuk dieksitasi dengan energi yang lebih kecil dan pembentukan lubang elektron akan lebih terfasilitasi Ilsatoham et al., (2023).

Dari karakterisasi UV-Vis didapatkan data transmitansi untuk mendapatkan ketebalan lapisan tipis BT-BZT dengan menggunakan persamaan 2.9. grafik data transmitansi ditunjukkan oleh Gambar 3.13



Gambar 3. 13. Spektrum Transmitansi Sampel BT-BZT yang Diannealing pada sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750(c)BT-BZT800

Pada suhu 700°C ketebalan lapisan tipisnya adalah 116,7 nm, suhu 750°C ketebalan lapisan tipisnya adalah 119,1 nm, dan pada suhu 800°C ketebalan lapisan tipisnya adalah 119,5 nm. Ketebalan lapisan tipis akan meningkat seiring dengan peningkatan suhu *annealing*. Hal ini sesuai dengan yang dilakukan oleh Ilsatoham et al., (2023) menggunakan sampel Bi₂O₃ dengan variasi suhu 150°C, 250°C, 350°C, 450°C, dan 550°C ukuran kristalit yang didapatkan adalah 354,13 nm, 556,61 nm, 496,04 nm, 624,75 nm, 1087,73 nm dan juga dilakukan oleh Kaushik et al., Ilsatoham et al., (2023) menggunakan sampel BaTiO₃ dengan suhu 550°C, 600°C, dan 650°C menghasilkan ketebalan pada sampel 200 nm menjadi 320 nm. Penurunan energi celah pita akan selaras dengan peningkatan ketebalan pada sampel karena ada pergerakan menuju ke tepi pita konduksi.

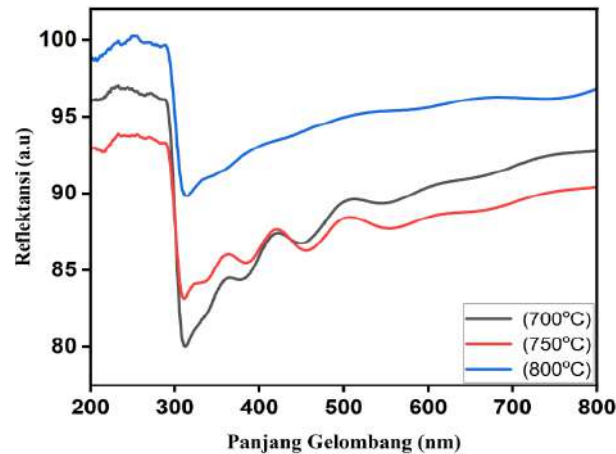
Perhitungan ketebalan bahan disajikan dalam Tabel 3.10

Tabel 3. 10. Ketebalan Lapisan Tipis Sampel BT-BZT dari Data Transmittansi

Sampel	TM1	Tm1	TM2	Tm2	d(nm)
BT-BZT700	43,36	43,29	41,6	41,39	116,7
BT-BZT750	90,1	90,0	91,9	91,6	119,1
BT-BZT800	90,8	90,1	92,7	92,1	119,5

- **Karakterisasi *Ultraviolet-visible* Komposisi (0,8)BaTiO₃-(0,2)BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O₃**

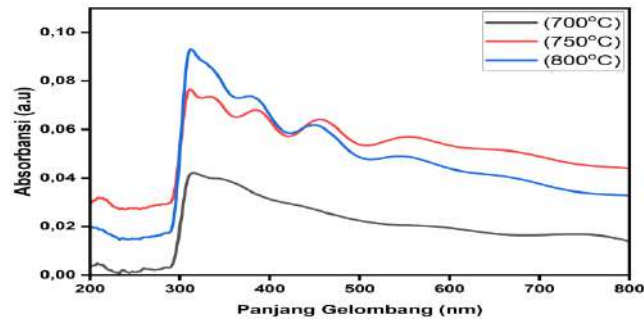
Sifat optik sampel BT-BZT dianalisa melalui uji spektroskopi UV-Vis berupa kurva hubungan spektrum reflektansi, absorbansi dan celah pita dari lapisan tipis BT-BZT pada suhu 700 °C, 750 °C, dan 800°C. Pengukuran ini menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 200-800 nm. Gambar 3.14 menunjukkan spektrum reflektansi dari sampel BT-BZT yang diannealing pada suhu 700°C, 750°C, dan 800°C. Spektrum reflektansi memberikan informasi mengenai reflektifitas optik sampel. Gambar 3.14 menunjukkan reflektivitas optik tertinggi dengan rentang panjang gelombang 200-312 nm. Peningkatan suhu annealing pada spektroskopi UV-Vis akan bergeser terhadap panjang gelombang yang lebih rendah (Alluqmani *et al.*, 2021). Panjang gelombang bergeser ke kiri seiring dengan peningkatan suhu annealing ditunjukkan juga oleh Lukong *et al.*, (2022) menggunakan sampel TiO₂ mendapatkan nilai penyerapan panjang gelombang 200-420 nm kebawah dengan suhu annealing 400°C, 600°C, dan 800°C.



Gambar 3. 14. Spektrum reflektansi sampel BT-BZT yang diannealing pada suhu 700°C, 750°C, dan 800°C

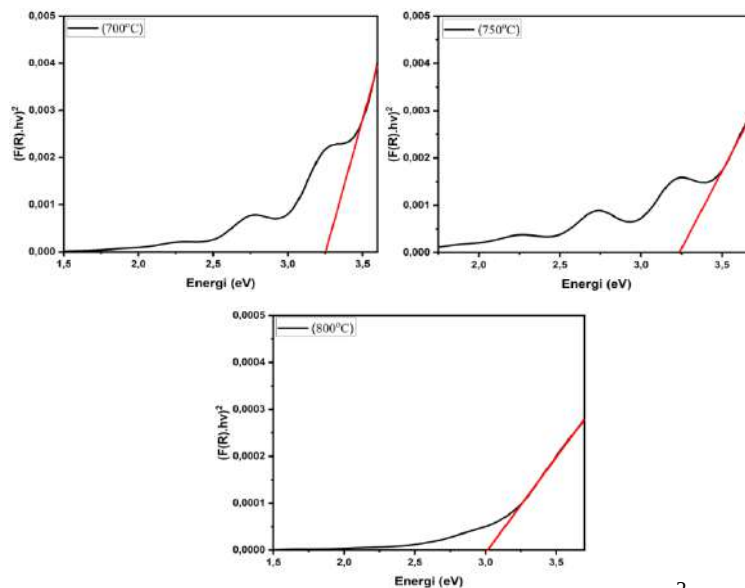
Spektrum absorbansi BT-BZT pada suhu 700°C, 750°C, dan 800°C dapat dilihat pada Gambar 3.14. Puncak absorbansi sampel BT-BZT700, BT-BZT750, dan BT-BZT800 diperoleh pada panjang gelombang 315 nm, 311 nm, dan 312 nm. Puncak absorbansi yang menurun seiring peningkatan suhu annealing juga ditunjukkan oleh Dewi, Manalu, *et al.*, (2023), memperoleh puncak absorbansi pada panjang gelombang 320 nm, 315 nm, dan 316 nm dengan variasi suhu annealing 700°C, 750°C, dan 800°C menggunakan bahan $0.3\text{BaTiO}_3\text{-}0.7\text{BaZr}_{0.5}\text{Ti}_{0.5}\text{O}_3$.

Nilai absorbansi sampel BT-BZT pada suhu 700°C, 750°C, dan 800°C masing – masing adalah 0,0418 a.u, 0,0756 a.u, dan 0,0934 a.u. Kenaikan nilai absorbansi dengan peningkatan suhu annealing juga ditunjukkan oleh Dewi, Manalu, *et al.*, (2023) diperoleh nilai absorbansi variasi suhu annealing 700°C, 750°C, dan 800°C masing – masing adalah 0,057 a.u, 0,088 a.u, dan 0,11. Suhu *annealing* mempengaruhi nilai absorbansi sampel, semakin tinggi suhu *annealing* maka semakin tinggi nilai absorbansi. Nilai absorbansi semua sampel menurun dari panjang gelombang yang kecil, hal ini karena substrat yang dipanaskan menjadi lebih rapat, seragam, dan cahaya yang diteruskan tidak diserap seluruhnya, tetapi lebih banyak dihamburkan (Verma *et al.*, 2021).



Gambar 3. 15. Spektrum absorbansi sampel BT-BZT yang diannealing pada suhu 700°C, 750°C, dan 800°C

Spektrum UV-Vis memberikan nilai reflektansi dan absorbansi dari sampel, selain itu juga memberikan informasi energi celah pita. Energi celah pita adalah energi minimum yang dibutuhkan pada elektron agar berpindah dari tingkat energi rendah (pita valensi) ke tingkat energi yang lebih tinggi (pita konduksi), sehingga foton yang diterima atau diberikan pada elektron minimum akan bernilai sama dengan besar energi celah pita terhadap sampel (Kafle, 2020).



Gambar 3. 16. Penentuan energi celah pita dari hubungan $(F(R). hv)^2$ dan energi (hv) pada suhu 700°C, 750°C, dan 800°C

Energi celah pita dari spektrum UV-Vis dihitung dengan Kubelka-Munk pada Persamaan (2.4). Nilai energi celah pita ditampilkan dengan cara membuat plot antara energi foton (hv) untuk sumbu x dan $(F(R).hv)^2$ untuk sumbu y. Energi celah pita ditentukan secara *direct* dari perpotongan garis lurus yang ditarik memotong sumbu x pada kurva yaitu saat $(F(R).hv)^2$ sama dengan nol (Budiasih et al., 2019).

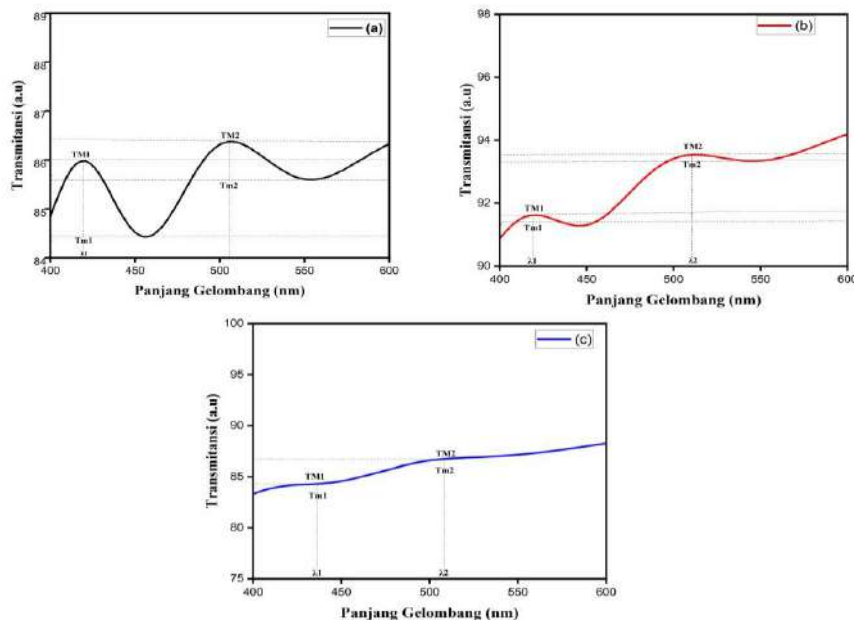
Nilai energi celah pita dari sampel yang di *annealing* pada suhu 700°C, 750°C, dan 800°C adalah 3,25 eV, 3,24 eV, dan 3,01 eV. Gambar 4.14 menunjukkan semakin tinggi suhu *annealing* semakin rendah energi celah pita, hal ini karena peningkatan suhu dapat meningkatkan jarak antar atom (Dewi, et al., 2023). Energi celah pita yang lebih rendah memberikan potensi yang lebih baik untuk terjadinya transisi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Keadaan ini memudahkan terjadinya lompatan elektron dari pita valensi ke pita konduksi (Budiasih et al., 2019). Nilai celah pita energi yang rendah pada sampel menunjukkan bahwa film tipis BT-BZT adalah bahan semikonduktor yang dapat diterapkan pada kapasitor keramik multilayer (MLCC) (Wang et al., 2020).

Penurunan nilai celah pita energi seiring dengan meningkatnya suhu *annealing* juga ditunjukkan oleh Dewi, Manalu, et al., (2023), dengan menggunakan material $0.3\text{BaTiO}_3\text{-}0.7\text{BaZr}_{0.5}\text{Ti}_{0.5}\text{O}_3$ pada suhu *annealing* 700°C, 750°C, dan 800°C menghasilkan energi gap masing masing 3,2 eV, 3,1 eV, dan 2,8 eV. Buku lain dilakukan oleh Dewi et al., (2022) dengan menggunakan $0,2\text{BaTiO}_3\text{-}0,8\text{BaZr}_{0.5}\text{Ti}_{0.5}\text{O}_3$ pada suhu *annealing* 700°C, 750°C, dan 800°C menghasilkan energi gap masing – masing 2,80, 2,50, dan 1,48 eV. Kenaikan suhu *annealing* mengakibatkan bertambahnya pergerakan elektron – elektron yang terikat di pita valensi dari bahan sehingga mampu bergerak menuju ke pita konduksi, akibatnya nilai celah pita energi semakin sempit. Penurunan nilai energi gap disebabkan oleh difusi ion BaTiO_3 ke dalam kisi BZT membentuk sub celah baru yang akan memberikan kemampuan menyerap cahaya lebih rendah (Lukong et al., 2022) Data karakterisasi Uv-Vis didapatkan data transmitansi untuk mendapatkan ketebalan lapisan tipis BT-BZT dengan menggunakan persamaan (2.9). Grafik data transmitansi ditunjukkan oleh Gambar 3.17 dan hasil perhitungan ketebalannya ditunjukkan oleh tabel 3.11

Perhitungan ketebalan bahan disajikan dalam Tabel 3.11

Tabel 3. 11. Ketebalan Lapisan Tipis Sampel BT-BZT dari Data Transmitansi

Sampel	TM1	Tm1	TM2	Tm2	d (nm)
BT-BZT700	91,6	91,3	93,5	93,3	238,2
BT-BZT750	85,9	84,4	86,3	85,6	195,8
BT-BZT800	84,3	83,2	86,8	85,7	184,2



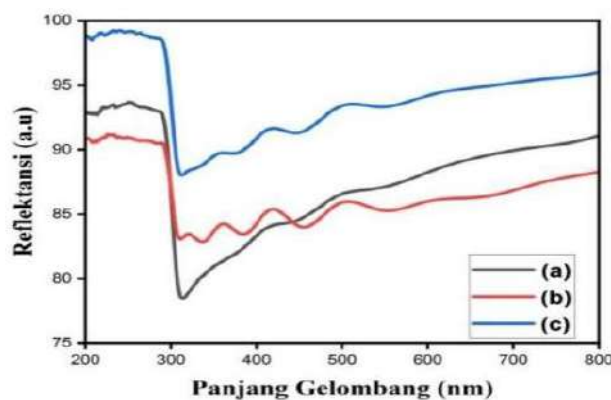
Gambar 3. 17. Spektrum transmitansi sampel BT-BZT yang diannealing pada sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c) BT-BZT800

Dari perhitungan pada tabel 3.11 diperoleh bahwa ketebalan lapisan tipis akan menurun akibat kenaikan suhu *annealing*. Hal ini sesuai dengan Rini et al (2019) yang sebelumnya membuat lapisan tipis BaTiO₃ dengan variasi suhu *annealing* 750 , 800°C, dan 850°C menghasilkan lapisan tipis dengan ketebalan masing masing yaitu 595 nm, 478 nm, dan 417 nm. Ketebalan lapisan tipis BaTiO₃ semakin tipis ketika suhu *annealing* semakin tinggi. Hal ini terjadi karena suhu yang lebih tinggi menyebabkan lebih banyak air yang menguap. Hal ini juga dilakukan oleh Yofentina et al (2019) yang membuat lapisan tipis Bismuth Ferrite (BiFeO₃) dengan metode *Chemical Solution Deposition* (CSD) dengan variasi suhu annealing 550°C, 600 , dan 650°C dihasilkan ketebalan yaitu 286 nm, 151 nm, dan 82 nm.

- **Karakterisasi *Ultraviolet-visible* Komposisi (0,9)BaTiO₃-(0,1)BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O₃**

Sifat optik sampel BT-BZT dianalisa melalui uji spektrokopi UV-Vis berupa kurva hubungan spektrum reflektansi,absorbansi dan celah pita dari lapisan tipis BT-BZT pada suhu 700°C, 750°C, dan 800°C. Pengukuran ini menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 200-800 nm. Gambar 3.18 menunjukkan spektrum reflektansi dari sampel BT-BZT yang diannealing pada suhu 700°C, 750°C, dan 800°C. Spektrum reflektansi memberikan informasi mengenai reflektifitas optik sampel.

Gambar 3.18 menunjukkan reflektivitas optik tertinggi dengan rentang panjang gelombang 200-312 nm. Peningkatan suhu *annealing* pada spektroskopi UV-Vis akan bergeser terhadap panjang gelombang yang lebih rendah (Alluqmani et al., 2021). Panjang gelombang bergeser ke kiri seiring dengan peningkatan suhu *annealing* ditunjukkan juga oleh (Lukong et al., 2022) menggunakan sampel TiO₂ mendapatkan sampel TiO₂ mendapatkan nilai penyerapan panjang gelombang 200-420 nm ke bawah dengan suhu annealing 400°C, 600°C, dan 800°C.

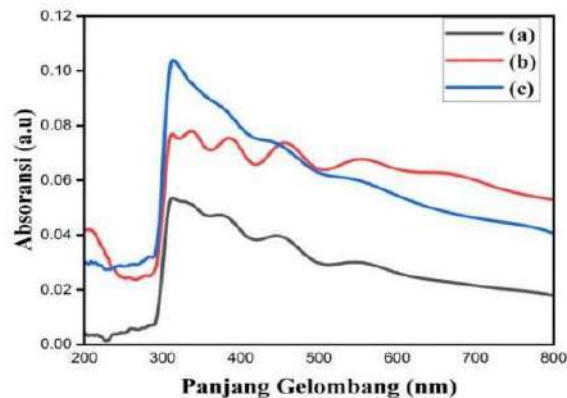


Gambar 3. 18. Spektrum reflektansi UV-Vis sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c) BT-BZT800

Spektrum absorbansi BT-BZT pada suhu 700°C, 750°C, dan 800°C dapat dilihat pada Gambar 3.18 Puncak absorbansi sampel BT-BZT700, BT-BZT750, dan BT BZT800 diperoleh pada panjang gelombang 315 nm, 311nm, dan 312 nm. Puncak absorbansi yang menurun seiring peningkatan suhu *annealing* juga ditunjukkan oleh Dewi et al (2023) memperoleh puncak absorbansi pada panjang gelombang 320 nm, 315 nm, dan 316 nm dengan variasi suhu *annealing* 700°C, 750°C, dan 800°C menggunakan bahan 0.3BaTiO₃-0.7BaZr_{0.5}Ti_{0.5}O₃.

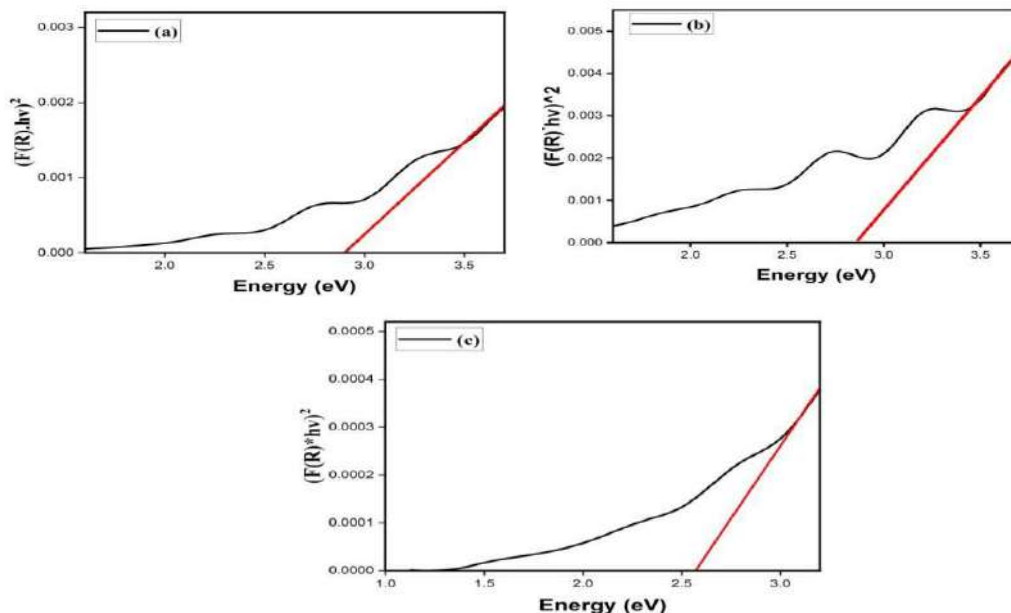
Nilai absorbansi sampel BT-BZT pada suhu 700°C, 750°C, dan 800°C masing-masing adalah 0,0148 a.u, 0,0756 a.u, dan 0,0934 a.u. Kenaikan nilai absorbansi dengan peningkatan suhu *annealing* juga ditunjukkan Dewi et al., (2023) diperoleh nilai absorbansi variasi suhu *annealing* 700°C, 750°C, dan 800°C masing-masing adalah 0,057 a.u, 0,088 a.u, dan 0,11 a.u. Suhu *annealing* mempengaruhi nilai absorbansi sampel, semakin tinggi suhu *annealing* maka semakin tinggi nilai absorbansi. Nilai absorbansi semua sampel menurun dari panjang gelombang yang kecil, hal ini karena

substrat yang dipanaskan menjadi lebih rapat, seragam, dan cahaya yang diteruskan tidak diserap seluruhnya, tetapi lebih banyak dihamburkan (Verma et al., 2021)



Gambar 3. 19. Spektrum absorbansi UV-Vis sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c) BT-BZT800

Spektrum UV-Vis memberikan nilai reflektansi dan absorbansi dari sampel, selain itu juga memberikan informasi energi celah pita. Energi celah pita adalah energi minimum yang dibutuhkan pada elektron agar berpindah dari tingkat energi rendah (pita valensi) ke tingkat energi yang lebih tinggi (pita konduksi), sehingga foton yang diterima atau diberikan pada elektron minimum akan bernilai sama dengan besar energi celah pita terhadap sampel (Kafle, 2020)



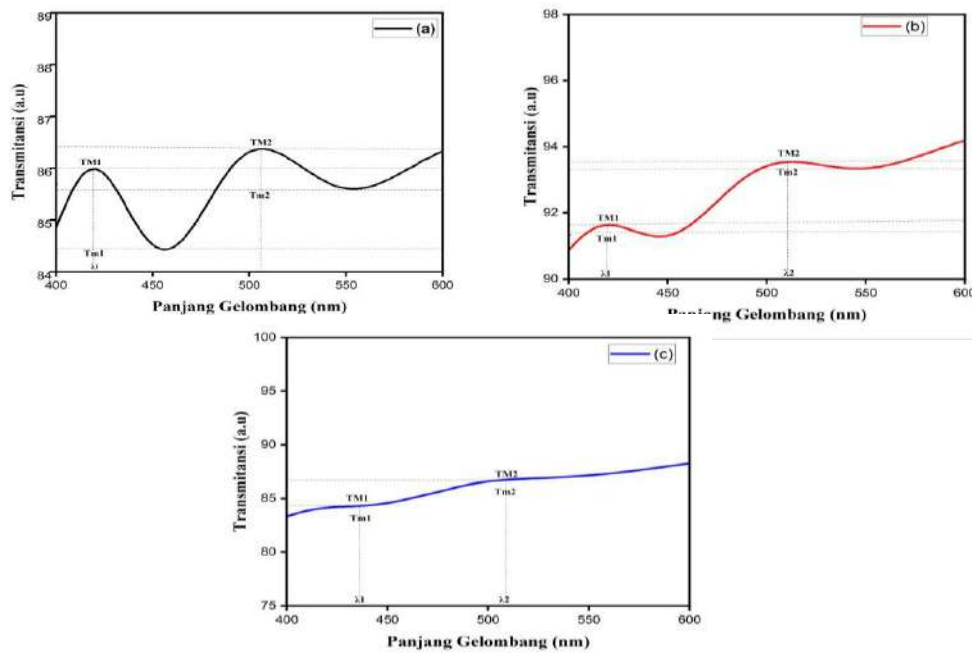
Gambar 3. 20. Penentuan energi celah pita dari hubungan $(F(R).hv)^2$ dan energi (hv) pada sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c) BT-BZT800

Energi celah pita dari spektrum UV-Vis dihitung dengan *Kubelka-Munk* pada persamaan (2.4). Nilai energi celah pita ditampilkan dengan cara membuat plot antara energi foton ($h\nu$) untuk sumbu x dan $(F(R).h\nu)^2$ untuk sumbu y. Energi celah pita ditentukan secara direct dari perpotongan garis lurus yang ditarik memotong sumbu x pada kurva yaitu saat $(F(R).h\nu)^2$ sama dengan nol (Budiasih et al., 2019).

Nilai energi celah pita dari sampel di *annealing* pada suhu 700°C, 750°C, dan 800°C adalah 2,569, 2,565 dan 2,560 eV. Gambar 3.20 menunjukkan semakin tinggi suhu *annealing* semakin rendah energi celah pita, hal ini karena peningkatan suhu dapat meningkatkan jarak antar atom (Dewi, et al., 2023). Energi celah pita yang lebih rendah memberikan potensi yang lebih baik untuk terjadinya transisi elektron dan pita valensi ke pita konduksi. Keadaan ini memudahkan terjadinya lompatan elektron dari pita valensi ke pita konduksi (Budiasih et al., 2019). Nilai celah pita energi yang rendah pada sampel menunjukkan bahwa film tipis BT-BZT adalah bahan semikonduktor yang dapat diterapkan pada kapasitor keramik multilayer (Wang et al, 2020).

Penurunan nilai celah pita energi seiring dengan meningkatnya suhu *annealing* juga ditunjukkan oleh Dewi et al., (2023), dengan menggunakan material $0.3\text{BaTiO}_3\text{-}0.7\text{BaZr}_{0.5}\text{TiO}_3$ pada suhu *annealing* 700°C, 750°C, dan 800°C menghasilkan energi gap masing-masing 3,2eV, 3,1eV, dan 2,8eV. Buku ini dilakukan oleh Dewi et al.,(2022) dengan menggunakan $0,2\text{BaTiO}_3\text{0,8BaZr}_{0.5}\text{Ti}_{0.5}\text{O}_3$ pada suhu *annealing* 700°C, 750°C, dan 800°C menghasilkan energi gap masing-masing 2,80, 2,50, dan 1,48 eV. Kenaikan suhu *annealing* mengakibatkan bertambahnya pergerakan elektron-elektron yang terikat di pita valensi dari bahan sehingga mampu bergerak menuju ke pita konduksi, akibatnya nilai celah pita energi semakin sempit. Penurunan nilai energi gap disebabkan oleh difusi ion BaTiO_3 ke dalam kisi BZT membentuk sub celah baru yang akan memberikan kemampuan menyerap cahaya lebih rendah (Lukong et al, 2022).

Data karakterisasi UV-Vis didapatkan data transmitansi untuk mendapatkan ketebalan lapisan tipis BT-BZT dengan menggunakan persamaan (2.9). Grafik data transmitansi ditunjukkan oleh Gambar 3.21.



Gambar 3. 21. Spektrum transmitansi sampel BT-BZT yang diannealing pada sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c) BT-BZT800

Perhitungan ketebalan bahan disajikan dalam Tabel 3.12

Tabel 3. 12. Ketebalan Lapisan Tipis Sampel BT-BZT dari Data Transmittansi

Sampel	TM1	Tm1	TM2	Tm2	d (nm)
BT-BZT700	91,6	91,3	93,5	93,3	238,2
BT-BZT750	85,9	84,4	86,3	85,6	195,8
BT-BZT800	84,3	83,2	86,8	85,7	184,2

Dari perhitungan pada Tabel 3.12 diperoleh bahwa ketebalan lapisan tipis akan menurun akibat kenaikan suhu *annealing*. Hal ini sesuai dengan buku sebelumnya oleh Rini et al **(2019)** yang membuat lapisan tipis BaTiO_3 dengan variasi suhu *annealing* 750 , 800°C, dan 850°C menghasilkan lapisan tipis dengan ketebalan masing masing yaitu 595 nm, 478 nm, dan 417 nm. Ketebalan lapisan tipis BaTiO_3 semakin tipis ketika suhu *annealing* semakin tinggi. Hal ini terjadi karena suhu yang lebih tinggi menyebabkan lebih banyak air yang menguap. Hal ini juga dilakukan oleh Yofentina et al **(2019)** yang membuat lapisan tipis Bismuth Ferrite (BiFeO_3) dengan metode *Chemical Solution Deposition* (CSD) dengan variasi suhu annealing 550°C, 600°C, dan 650°C dihasilkan ketebalan yaitu 286 nm, 151 nm, dan 82 nm.

3.2.3 Field Emmision Dispersif Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (FESEM-EDX)

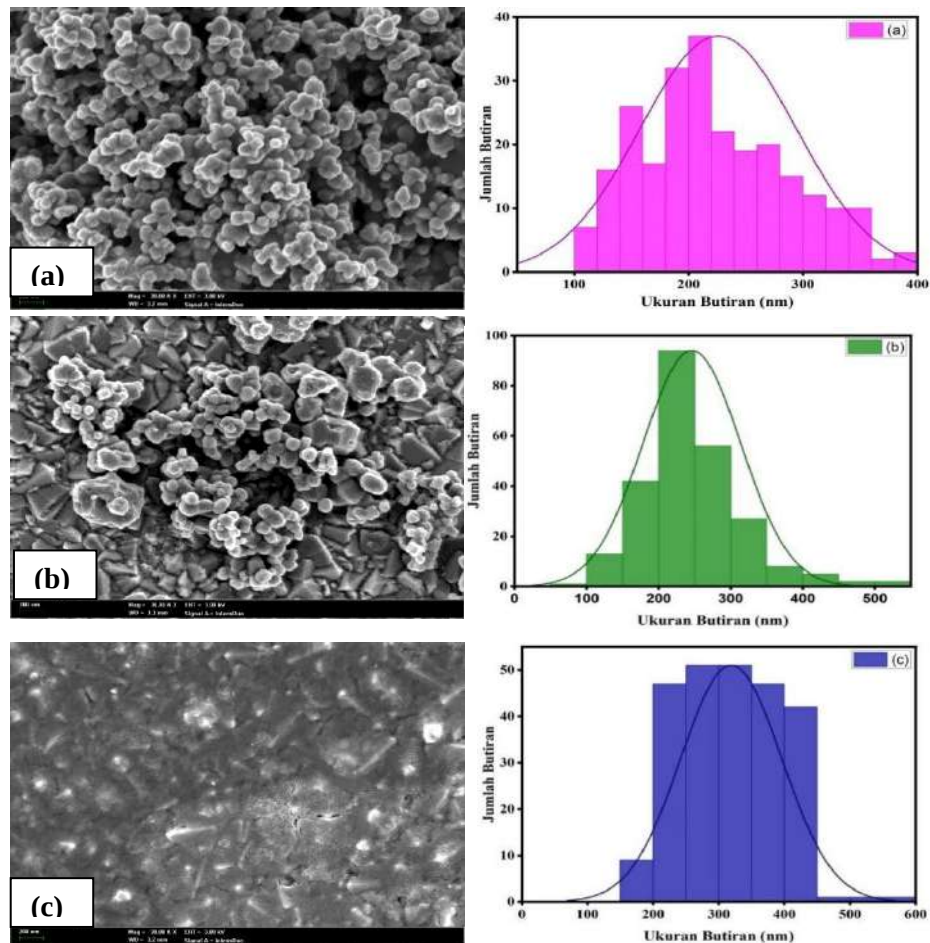
- **Karakterisasi (FESEM-EDX) Komposisi (0,7)BaTiO₃-(0,3)BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O₃**

Analisa morfologi sampel BT-BZT dengan karakterisasi FESEM memberikan informasi mengenai bentuk dan ukuran partikel pada sampel. Karakterisasi ini menggunakan perbandingan 30.000 kali yang disajikan pada Gambar 3.22 Hasil morfologi ini sampel BT-BZT dengan suhu *annealing* 700°C, 750°C, 800°C menunjukkan jika sampel berbentuk *sperichal* tidak teratur. Karakterisasi ini selaras dengan Mofokeng et al., (2023). Analisa morfologi yang dilakukan menggunakan sampel ZnTiO₃ menunjukkan jika sampel berbentuk *spherical* tidak beraturan.

Tabel 3. 13. Ukuran Rata-Rata Partikel pada Sampel BT-BZT

Sampel BT-BZT	Ukuran rata-rata partikel bentuk (nm)
BT-BZT700°C	223,68 ± 54,06
BT-BZT750°C	270,33 ± 59,39
BT-BZT800°C	317,03 ± 64,11

Pada Tabel 3.13 memperlihatkan jika suhu *annealing* berpengaruh terhadap ukuran partikel BT-BZT. Ukuran partikel akan bertambah seiring dengan peningkatan suhu *annealing*. Analisa ini selaras dengan yang dilakukan oleh Das et all **(2021)** dengan membuat lapisan tipis menggunakan sampel Ba_{0,985}Sr_{0,015}Zr_{0,10}Ti_{0,9}O₃ dengan variasi suhu 1200°C, 1250°C, dan 1300°C sehingga ukuran butiran yang didapatkan adalah 0,23 ± 0,14 nm, 0,35±0,20 nm dan 0,45±0,13 nm.



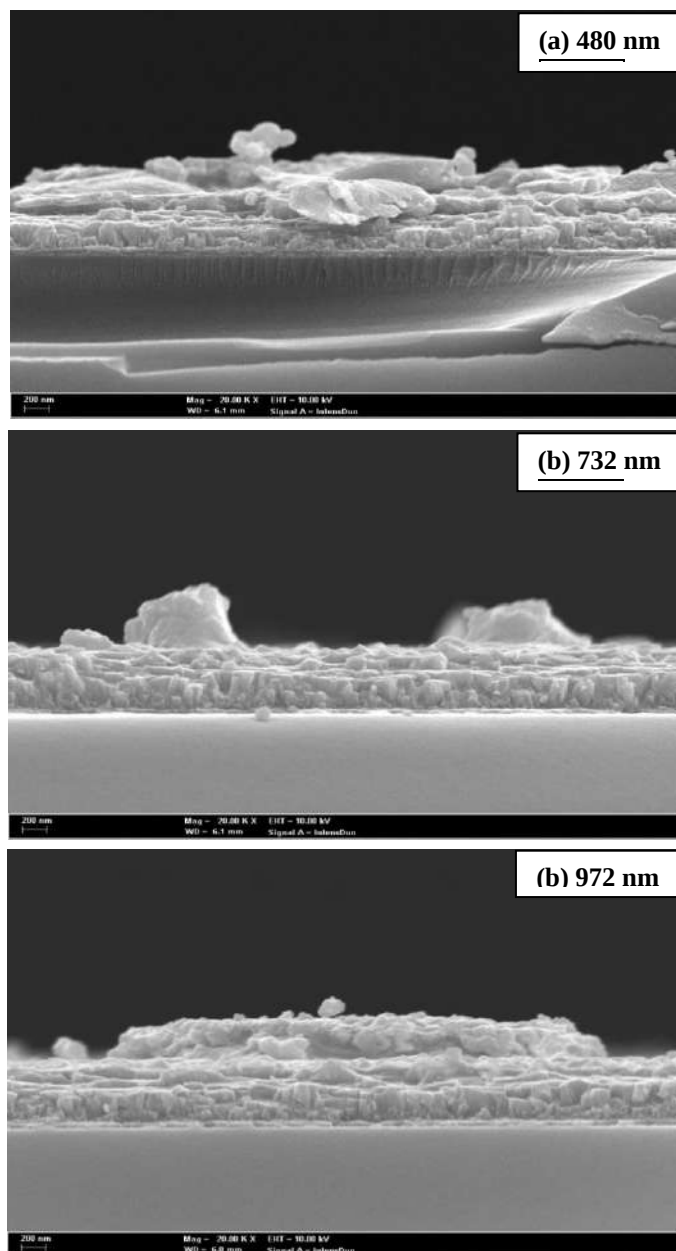
Gambar 3. 22. Foto Pemindaian Morfologi FESEM pada pada Sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c)BT-BZT800

Ketebalan lapisan yang didapatkan pada lapisan tipis BT-BZT masing-masing adalah 160,8 nm, 619,7 nm, dan 442,4 nm. Peningkatan suhu *annealing* karena ikatan atom akan semakin menguat dan unsur yang tidak diperlukan akan terbuang dan penurunan suhu *annealing* menyebabkan kualitas kristal pada sampel akan semakin rendah karena ada penguatan pada atom **(Damayana, 2016)**. Hal ini selaras dengan yang dilakukan oleh Damayana **(2016)** dengan membuat lapisan tipis dengan sampel ZnO yang didoping oleh boron dengan menggunakan variasi suhu 200°C, 250°C, 300°C, 350°C, dan 400°C sehingga ketebalan sampel yang didapatkan adalah 143,7 nm, 193,2 nm, 184,7 nm, 266,8 nm, dan 210,5 nm.

Tabel 3. 14. Ketebalan pada Sampel BT-BZT

Sampel BT-BZT	Ketebalan Lapisan Sampel (nm)
BT-BZT700°C	480
BT-BZT750°C	732

Sampel BT-BZT	Ketebalan Lapisan Sampel (nm)
BT-BZT800°C	972

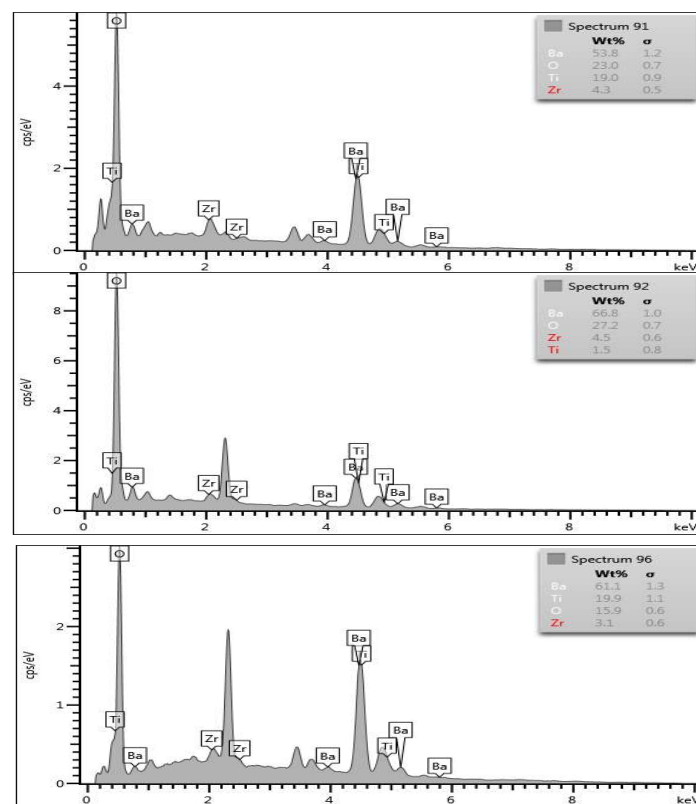


Gambar 3. 23. Foto Pemindaian Ketebalan BT-BZT Melalui Karakterisasi FESEM pada pada Sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c)BT-BZT800

Komposisi unsur yang dianalisa dalam sampel BT-BZT ini menggunakan karakterisasi *Energy Dispersive X-Ray* (EDX). EDX digunakan untuk mengetahui nilai presentase berat dan presentase atom dari sampel BT-BZT. spektrum EDX sampel BT-BZT700, BT-BZT750, BT-BZT800 yang ditumbuhkan di atas substrat *Fluore Tin Oxide* (FTO) disajikan pada Gambar 3.23.

Pada Gambar 3.23 memperlihatkan jika sampel BT-BZT mengandung unsur Barium (Ba), Oksigen (O), Zirkonium (Zr), dan Titanium (Ti). Pada sampel BT-BZT700 diperoleh presentase berat secara berturut-turut yaitu 66,8% Ba, 27,2% O, 4,5% Zr, dan 1,5% Ti. Pada sampel BT-BZT750 diperoleh presentase berat secara berturut-turut yaitu 53,8% Ba, 23,0% O, 19,0% Ti, dan 4,3% Zr. Pada sampel BT-BZT800 diperoleh presentase berat 61,6% Ba, 19,9% Ti, 15,9% O, dan 3,1% Ti. Analisa *Energy Dispersive X-Ray* menunjukkan jika presentase berat unsur yang terkandung dalam substrat *Fluorine Tin Oxide* (FTO) adalah Barium (Ba) yang lebih dominan dibanding dengan unsur yang lain. Menurut **(Ilsatoham et al., 2023)** rasio nilai akan menurun seiring dengan peningkatan suhu pada substrat tetapi jika terjadi hasil yang berlawanan dapat disebabkan oleh karakterisasi eksperimen yang secara khusus berupa karakterisasi pengendapan, suhu *annealing*, preparasi sampel yang dapat mempengaruhi komposisi dan struktur film tipis.

Hal ini selaras dengan yang sebelumnya dilakukan oleh Bhargavi et al., **(2022)** menggunakan bahan $\text{BaZr}_{0,05}\text{Ti}_{0,95}\text{O}_3$ dengan suhu *annealing* 120°C dan presentase berat yang didapatkan adalah 57,59% Ba, 1,48% Zr, 18,52% Ti, 22,41% O.



Gambar 3. 24. Spektrum EDX pada Suhu *Annealing* pada Sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c)BT-BZT800

Tabel 3. 15. Presentase Komposisi Unsur yang Terkandung pada Sampel BT-BZT

Sampel	Ba	O	Ti	Zr
BT-BZT700	53,8	23,0	19,0	4,3
BT-BZT750	66,8	27,2	4,5	1,5
BT-BZT800	61,1	19,9	15,9	3,1

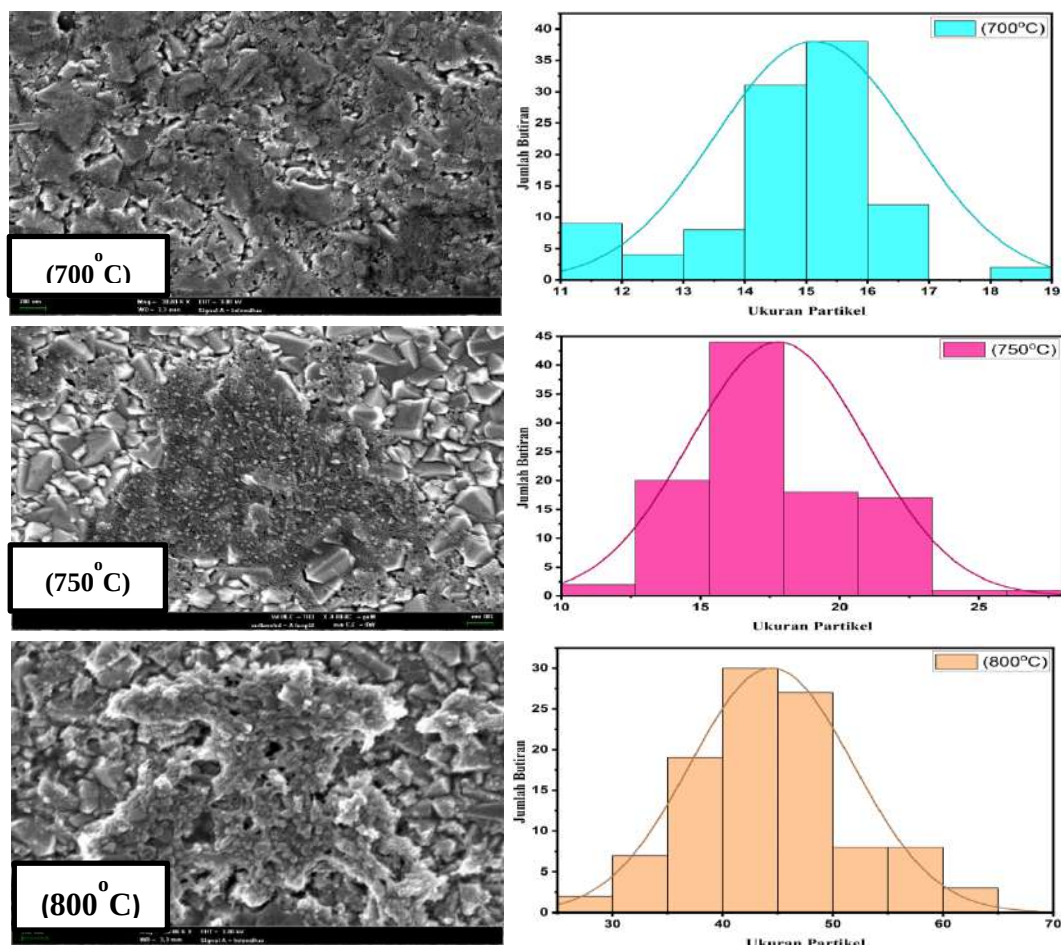
Persentase unsur ini sesuai dengan harapan sampel BT-BZT dimana terdapat unsur Ba, Zr, Ti, dan O. kehadiran unsur O yang terdeteksi pada EDX pada sampel BT-BZT dalam hal ini didapatkan oleh residu oleh pelarut yaitu *acetyl acid* ($C_2H_4O_2$), *acetyl acetone* ($C_5H_8O_2$), *methanol* (CH_3OH), dan *etylen glikol* ($C_2H_6O_2$). Bahan pelarut berbentuk cairan persentasenya akan lebih besar dibandingkan dengan sampel yang berbentuk bubuk karena benda cair memiliki ukuran butiran yang lebih kecil jika dibandingkan dengan bahan yang berbentuk serbuk sehingga bahan cair akan lebih mudah berinteraksi dengan bahan yang lain. Sedangkan untuk bahan serbuk atom Barium terdeposit lebih banyak dibandingkan dengan unsur Zr dan Ti. Penyebab dari hal ini adalah komposisi Barium yang lebih banyak dibandingkan dengan unsur Zr dan Ti pada pembuatan larutan BT-BZT (Bhargavi et al., 2022).

- **Karakterisasi (FESEM-EDX) Komposisi $(0,8)BaTiO_3-(0,2)BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O_3$**

Morfologi permukaan sampel BT-BZT dikarakterisasi menggunakan karakterisasi FESEM memberikan informasi terkait bentuk dan ukuran partikel yang terkandung pada sampel. Morfologi FESEM dan histogram dengan sampel BT-BZT suhu 700°C, 750°C, dan 800°C ditampilkan pada Gambar 4.24. Morfologi FESEM dengan pembesaran 30.000 kali menunjukkan bentuk geometris sampel BT-BZT dengan skala 200 nm. Gambar 4.6 menunjukkan morfologi permukaan sampel berbentuk *spherical* yang tidak teratur (Dewi, et al., 2023). Tabel 3.16 menunjukkan ukuran partikel BT-BZT untuk masing – masing sampel suhu 700°C, 750°C, dan 800°C.

Tabel 3. 16. Ukuran rata – rata partikel pada sampel BT-BZT

Sampel BT-BZT	Ukuran rata-rata partikel (nm)
BT-BZT 700°C	234,73 ± 25,38
BT-BZT 750°C	242,16 ± 54,25
BT-BZT 800°C	247,15 ± 56,32

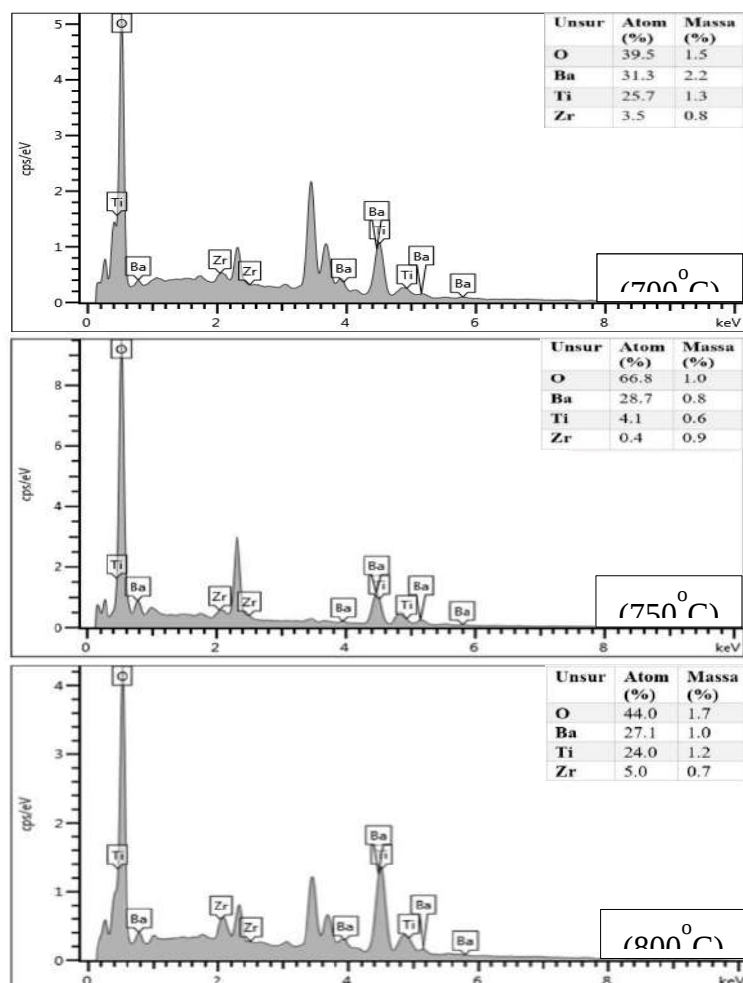


Gambar 3. 25. Foto dan kurva pindaian FESEM pada suhu 700°C,750°C, dan 800°C

Tabel 3.16 menampilkan suhu annealing mempengaruhi ukuran partikel sampel BT-BZT. Ukuran rata – rata sampel adalah $234,73 \pm 25,38$ nm, $242,16 \pm 54,25$ nm, dan $247,15 \pm 56,32$ pada suhu 700°C, 750°C, dan 800°C, menunjukkan ukuran partikel bertambah besar seiring meningkatnya suhu annealing. Peningkatan ukuran partikel seiring meningkatnya suhu *annealing* juga selaras dengan yang dilakukan oleh Dewi **(2022)** yaitu dengan menggunakan bahan BZT dengan peningkatan suhu *annealing* pada suhu 600°C dan 650°C menunjukkan ukuran sampel $16,31 \pm 38,87$ nm dan $19,29 \pm 43,02$ nm. Peningkatan ukuran partikel dipengaruhi oleh suhu annealing yang semakin tinggi menyebabkan butiran membesar **(Ke et al., 2020)**.

Ketebalan (d) lapisan tipis BT-BZT dengan komposisi bahan $(0,8)\text{BaTiO}_3$ - $(0,2)\text{BaZr}_{0,5}\text{O}_3$ pada suhu 700°C, 750°C, dan 800°C masing – masing adalah 184,3 nm, 346,2 nm, dan 2.914 nm, ditunjukkan oleh tanda panah pada Gambar 3.26. Kenaikan suhu *annealing* menyebabkan ukuran butiran lebih besar pada suhu yang lebih tinggi.

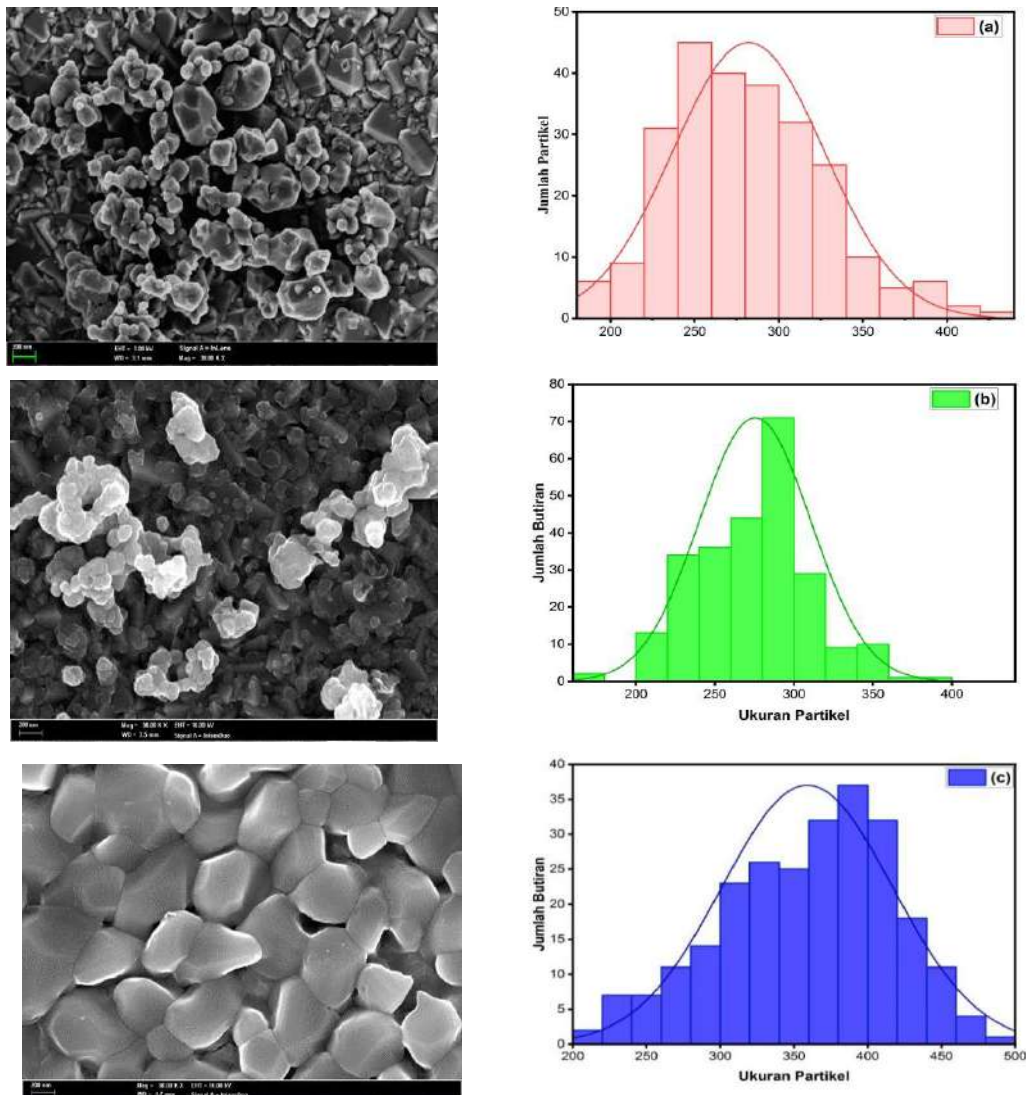
berturut – turut 39,5% O, 31,3% Ba, 25,7% Ti, dan 3,5% Zr. Sampel BT-BZT750 memiliki persentase berat berturut-turut 66,8% O, 28,7% Ba, 4,1% Ti, dan 0,4% Zr. Sampel BT-BZT800 memiliki persentase berat berturut – turut 44,0% O, 27,1% Ba, 24,0% Ti, dan 5,0% Zr. Spektrum Energi Dispersif Sinar-X (EDX) menunjukkan bahwa persentase berat unsur yang terkandung di dalam substrat FTO (Flourine Tin Oxide) yaitu unsur O (Oksigen) lebih dominan dibanding persentase berat unsur-unsur lain. Kehadiran unsur O yang terdeteksi pada EDX sampel BT-BZT disebabkan karena adanya residu dari larutan pelarut yaitu *methanol* (CH_3OH), *Acetil aceton* ($\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$), *Acetil acid* ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$), dan *Etilen glycol* ($\text{C}_2\text{H}_6\text{OH}$). Bahan pelarut yang berbentuk cairan memiliki ukuran partikel yang lebih kecil jika dibandingkan dengan bahan berbentuk serbuk, akibatnya bahan cair mudah bereaksi dengan unsur lain. Sehingga menyebabkan bahan pelarut memiliki persentase yang lebih besar dibandingkan dengan bahan sampel yang berbentuk serbuk (Jamaluddin *et al.*, 2020).



Gambar 3. 27. Spektrum EDX pada suhu 700°C, 750°C, dan 800°C

- **Karakterisasi (FESEM-EDX) Komposisi (0,9)BaTiO₃-(0,1)BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O₃**

Morfologi permukaan sampel BT-BZT dikarakterisasi menggunakan karakterisasi FESEM memberikan informasi terkait bentuk dan ukuran partikel yang terkandung pada sampel. Morfologi FESEM dan histogram dengan sampel BT-BZT suhu 700°C, 750°C, dan 800°C ditampilkan pada Gambar 3.28. Morfologi FESEM dengan pembesaran 30.000 kali menunjukkan bentuk geometris sampel BT-BZT dengan skala 200 nm. Gambar 3.28 menunjukkan morfologi permukaan sampel berbentuk *spherical* yang tidak teratur (Dewi, et al., 2023).



Gambar 3. 28. Foto dan kurva pindaian FESEM pada sampel (a) BT-BZT700(b) BT-BZT750 (c) BT-BZT800

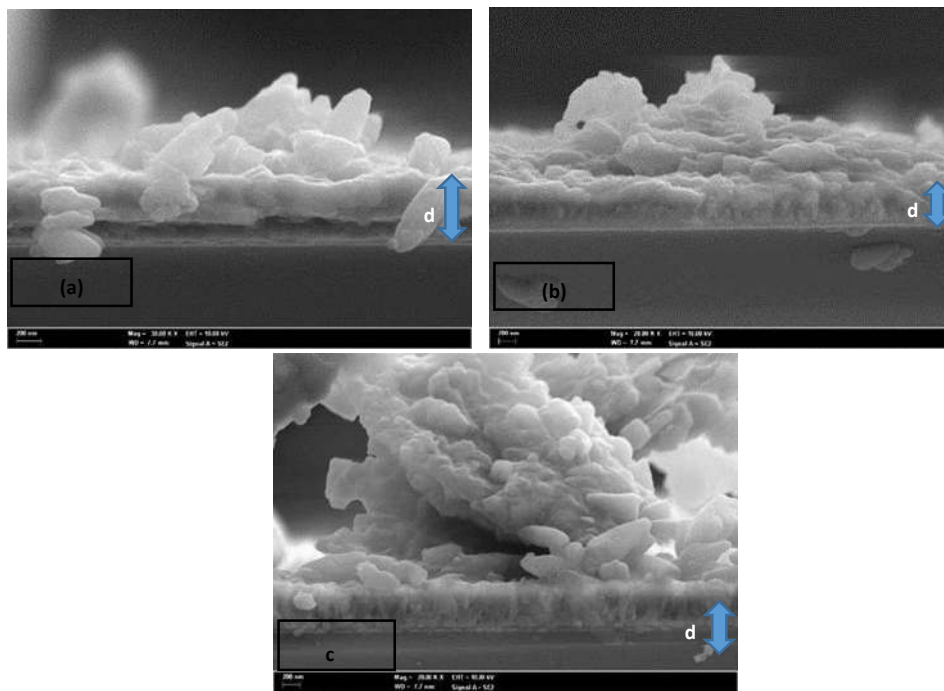
Tabel 3.17 menunjukkan ukuran partikel BT-BZT untuk masing-masing sampel suhu 700°C, 750°C, dan 800°C

Tabel 3. 17. Ukuran rata-rata partikel pada sampel BT-BZT

Sampel BT-BZT	Ukuran rata-rata partikel (nm)
BT-BZT 700°C	237 ± 55
BT-BZT 750°C	300 ± 62
BT-BZT 800°C	405 ± 71

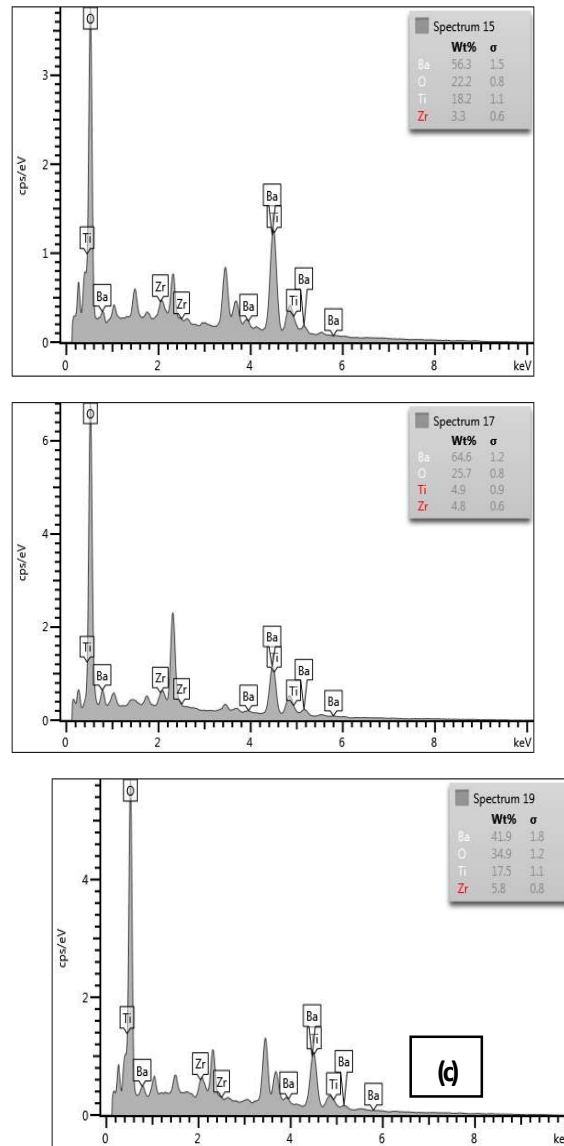
Tabel 4.16 menampilkan suhu *annealing* mempengaruhi ukuran partikel sampel BT-BZT. Ukuran rata-rata sampel adalah 237±55 nm, 300±62 nm, dan 405±71 nm pada suhu 700°C, 750°C, dan 800°C menunjukkan bahwa ukuran partikel akan semakin bertambah dengan meningkatnya suhu *annealing*. Peningkatan ukuran partikel dengan meningkatnya suhu *annealing* juga sama seperti yang dilakukan oleh Dewi **(2022)** yaitu dengan menggunakan bahan BZT dengan peningkatan suhu *annealing* pada suhu 600°C dan 650 menunjukkan ukuran sampel 16,31 ± 38,87 nm dan 19,29 ± 43,02 nm. Peningkatan ukuran partikel dipengaruhi oleh suhu *annealing* yang semakin tinggi mengakibatkan butiran semakin membesar **(Ke et al., 2020)**

Ketebalan (d) lapisan tipis BT-BZT dengan komposisi bahan (0,9)BaTiO₃(0,1)BaZr_{0,5}O₃ pada suhu 700°C, 750°C, dan 800°C masing-masing adalah 153 nm, 212 nm, dan 328 nm, ditunjukkan oleh tanda panah pada Gambar 3.29. Kenaikan suhu *annealing* menyebabkan ukuran butiran lebih besar pada suhu yang lebih tinggi. Semakin tinggi suhu maka semakin tebal lapisan begitu juga sebaliknya **(Dewi et al., 2022)**.



Gambar 3. 29. Foto hasil pemindaian ketebalan sampel (a)BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c) BT-BZT800

Energi Dispersif Sinar-X (EDX) berfungsi sebagai analisa kandungan unsur yang terdapat dalam substrat kaca. Uji sampel spektrum EDX menunjukkan adanya puncak, unsur, dan persentase berat yang diperoleh setiap sampel. Komposisi unsur yang terkandung dalam BT-BZT700, BT-BZT750, dan BT-BZT800 yang dilapisi di atas substrat FTO disajikan dalam Gambar 3.30 Analisa *Energy Dispersive X-Ray* menunjukkan jika persentase berat unsur yang terkandung dalam substrat *Flourine Tin Oxide* (FTO) adalah Barium (Ba) yang lebih dominan dibanding dengan unsur lain. Menurut **(Ilsatoham et al., 2023)** rasio nilai akan menurun seiring dengan peningkatan suhu dan terjadi hasil berlawanan dapat disebabkan oleh karakterisasi eksperimen yang secara khusus berupa karakterisasi pengendapan dan suhu *annealing*.



Gambar 3. 30. Spektrum EDX pada sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c) BT-BZT800

Gambar 3.30 menunjukkan bahwa sampel BT-BZT mengandung unsur Ba (Barium), Zr (Zirkonium), Ti (Titanium), O (Oksigen), dan menunjukkan visualisasi puncak-puncak spektrum semua sampel. Sampel BT-BZT700 memiliki persentase berat berturut-turut 22,2%O, 56,3%Ba, 18,2%Ti, dan 3,3%Zr. Sampel BT-BZT750 memiliki persentase berat berturut-turut 25,7%O, 64,6%Ba, 4,9%Ti, dan 4,8%Zr. Sampel BT-BZT800 memiliki persentase berat berturut-turut 34,9%O, 41,9%Ba, 17,5%Ti, dan 5,8%Zr.

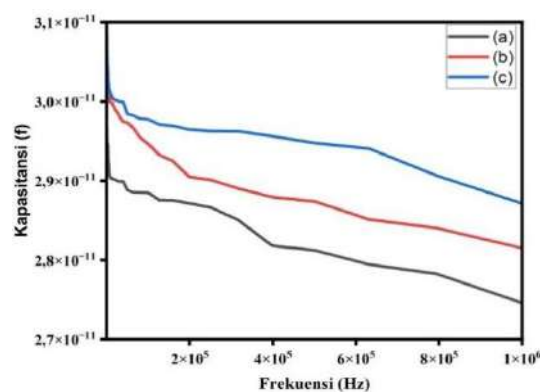
Spektrum *Energy Dispersive Sinar-X* (EDX) menunjukkan bahwa persentase berat unsur yang terkandung di dalam substrat FTO yaitu unsur O (Oksigen) lebih dominan dibanding persentase berat unsur-unsur lain. Kehadiran O yang terdeteksi pada EDX sampel BT-BZT disebabkan karena adanya residu dari larutan pelarut yaitu *methanol* (CH_3OH), *Acetil acetone* ($\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$), *Acetil acid* ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$), dan *Etilen glycol* ($\text{C}_2\text{H}_6\text{OH}$). Pelarut cair memiliki ukuran partikel yang lebih kecil dibandingkan bahan bubuk, bahan cair lebih cenderung bereaksi dengan unsur lain. Artinya, proporsi pelarut lebih tinggi dibandingkan dengan bahan sampel bubuk (Jamaluddin *et al.*, 2020)

3.2.4 Karakterisasi Menggunakan Spektroskopi Impedansi

- **Spektroskopi Impedansi Karakterisasi Komposisi (0,7)BaTiO₃-(0,3)BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O₃**

Karakterisasi menggunakan spektroskopi impedansi bertujuan untuk melihat sifat kelistrikan pada sampel BT-BZT seperti konstanta dielektrik dan nilai kapasitansi dengan menganalisa hubungan nilai kapasitansi terhadap frekuensi dan konstanta dielektrik terhadap frekuensi. Nilai tegangan AC pada pengukuran ini adalah 100-1000000 Hz.

Dari data spektroskopi impedansi didapatkan nilai kapasitansi yang dihitung menggunakan persamaan (2.12) dan disajikan dalam grafik yang menghubungkan nilai kapasitansi terhadap frekuensi seperti Gambar 3.31.



Gambar 3. 31. Hubungan C terhadap F pada Sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c)BT BZT800

Gambar 3.31 menunjukkan jika terjadi penurunan nilai kapasitansi seiring dengan peningkatan frekuensi. Hal ini sesuai dengan persamaan (2.12) yang menunjukkan jika kapasitansi berbanding terbalik dengan frekuensi pada tegangan AC. Pada suhu 700, nilai kapasitansi paling tinggi adalah $3,13 \times 10^{-11}$ pada frekuensi 100 Hz dan nilai

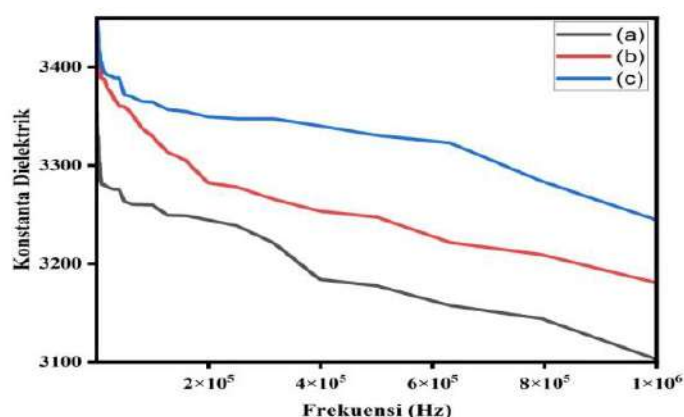
kapasitansi paling rendah adalah $2,75 \times 10^{-11}$ pada frekuensi 100 Hz. pada suhu 750 nilai kapasitansi paling tinggi adalah $3,14 \times 10^{-11}$ pada frekuensi 1 MHz dan nilai kapasitansi paling rendah adalah $2,81 \times 10^{-11}$ pada frekuensi 100 Hz. pada suhu 800 nilai kapasitansi paling tinggi adalah $3,15 \times 10^{-11}$ pada frekuensi 1 MHz dan nilai kapasitansi paling rendah adalah $2,87 \times 10^{-11}$ pada frekuensi 100 Hz.

Tabel 3. 18. Nilai kapasitansi pada sampel BT-BZT

Sampel BT-BZT	Kapasitansi Terendah	Kapasitansi tertinggi
BT-BZT700°C	$2,75 \times 10^{-11}$	$3,13 \times 10^{-11}$
BT-BZT750°C	$2,81 \times 10^{-11}$	$3,14 \times 10^{-11}$
BT-BZT800°C	$2,87 \times 10^{-11}$	$3,15 \times 10^{-11}$

Pada suhu *annealing* 700 terlihat pada hasil FESEM bahan BT-BZT lebih sedikit butiran yang terbentuk. Butiran yang terbentuk ini dapat menurunkan nilai resistivitas dan dapat meningkatkan nilai konduktivitas pada sampel BT-BZT. Penurunan nilai resistivitas akan selaras dengan peningkatan suhu *annealing* yang membentuk butiran partikel (Hemeda et al., 2020). Peningkatan kerapatan pada sampel menyebabkan nilai kristalinitas akan semakin membaik. Kristanilitas pada bahan menunjukkan puncak-puncak difraksi seperti pada Gambar 3.31. Puncak pada suhu *annealing* 800°C memiliki puncak yang lebih tinggi dibandingkan dengan puncak pada suhu *annealing* 700°C. Hal ini selaras dengan yang sebelumnya dilakukan oleh Dewi (2022). Membuat lapisan tipis dengan metode sol gel dan sampel yang digunakan adalah $\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.6}\text{TiO}_3$ dengan variasi suhu *annealing* 600°C, 650°C, dan 700°C. pada suhu *annealing* 600°C nilai kapasitansi yang didapatkan oleh sampel BST adalah $1,44 \times 10^{-9}$, nilai kapasitansi yang didapatkan pada suhu *annealing* 650°C adalah $6,89 \times 10^{-9}$, dan pada suhu *annealing* 700°C nilai kapasitansi yang didapatkan adalah $22,10 \times 10^{-9}$. Pembuatan lapisan tipis dengan komposisi $\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.6}\text{TiO}_3$ ini menunjukkan jika nilai kapasitansi akan meningkat seiring dengan peningkatan suhu *annealing*.

Nilai konstanta dielektrik ditentukan menggunakan persamaan (2.18) dan tersaji pada Gambar 4.31 dan pada Tabel 4.18. Pada Gambar 4.30 menunjukkan grafik hubungan antara konstanta dielektrik terhadap frekuensi.



Gambar 3. 32. Hubungan konstanta dielektrik terhadap frekuensi pada Sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c)BT-BZT800

Melalui perhitungan nilai konstanta dielektrik tertinggi yang didapatkan pada suhu 700°C adalah 3542,8931 pada frekuensi 1 MHz dan nilai konstanta dielektrik terendah didapatkan pada 3244,4007 pada frekuensi 100 Hz. Pada suhu 750°C nilai konstanta dielektrik tertinggi yang didapatkan adalah 3554,5164 pada frekuensi 1 MHz dan nilai konstanta dielektrik terendah pada suhu 3180,59087 pada frekuensi 100 Hz. Pada suhu 800°C nilai konstanta dielektrik tertinggi adalah 3647,3431 pada frekuensi 1 MHz dan nilai konstanta dielektrik terendah 3102,68884 pada frekuensi 100 Hz.

Tabel 3. 19. Nilai Konstanta Dielektrik pada Sampel BT-BZT

Sampel BT-BZT	Konstanta dielektrik Terendah	Konstanta dielektrik tertinggi
BT-BZT700°C	3244,40077	3542,8931
BT-BZT750°C	3180,59087	3554,5164
BT-BZT800°C	3102,68884	3647,3431

Peningkatan struktur kristal disebabkan oleh rapat pada struktur penyusun kisi kristal. Bahan dielektrik tidak memiliki elektron bebas sehingga elektron dan inti atom saling berkaitan yang berakibat momen dipol terdapat pada bahan dielektrik. Peningkatan suhu *annealing* menyebabkan kerapatan kisi meningkat dan dipol akan semakin meningkat. Semakin banyak dipol makan polarisasi akan semakin besar.

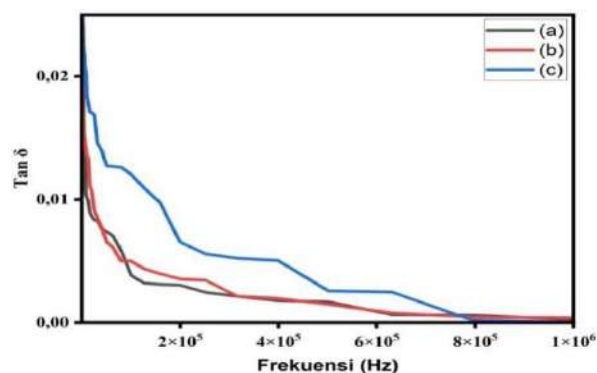
Polarisasi berbanding lurus dengan konstanta dielektrik dan peningkatan suhu menyebabkan konstansta dielektik yang dihasilkan semakin besar. Semakin tinggi nilai konstantle Dew (2022) yang menggunakan sampel $\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.6}\text{TiO}_3$ pada suhu 600°C

nilai konstanta dielektrik yang dihasilkan adalah 163, pada suhu 650°C nilai konstanta dielektrik yang dihasilkan adalah 779 dan pada suhu 700°C nilai konstanta dielektrik yang dihasilkan adalah 2500. Hal ini menunjukkan jika nilai konstanta dielektrik akan meningkat seiring dengan peningkatan suhu *annealing*.

Nilai kehilangan dielektrik ditentukan dengan persamaan (2.18) yang disajikan oleh Tabel 3.20 dan Gambar 3.33 yang menghubungkan kehilangan dielektrik terhadap frekuensi.

Tabel 3. 20. Nilai Kehilangan Dielektrik pada Sampel BT-BZT

Sampel BT-BZT	Konstanta dielektrik Terendah	Konstanta dielektrik tertinggi
BT-BZT700°C	$3,890 \times 10^{-4}$	0,05257
BT-BZT750°C	$6,662 \times 10^{-6}$	0,06824
BT-BZT800°C	$2,195 \times 10^{-4}$	0,08933



Gambar 3. 33. Hubungan $\tan \delta$ terhadap F pada Sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c) BT-BZT800

Gambar 3.33 menunjukkan jika nilai kehilangan dielektrik tertinggi ditunjukkan oleh suhu 800°C. Nilai kehilangan dielektrik pada sampel BT-BZT700 yang terendah adalah $3,89 \times 10^{-4}$ pada frekuensi 1 MHz dan yang tertinggi adalah 0,0527 pada frekuensi 100 Hz. Pada sampel BT-BZT750 nilai kehilangan dielektrik terendah adalah $6,662 \times 10^{-6}$ pada frekuensi 1 MHz dan nilai kehilangan dielektrik tertingginya adalah 0,06824 pada frekuensi 100 HZ. Pada suhu 800 nilai kehilangan dielektrik terendahnya adalah $2,195 \times 10^{-4}$ pada frekuensi 1 MHz dan nilai kehilangan dielektrik tertingginya adalah 0,0893 pada frekuensi 100 Hz. Hal ini menunjukkan jika nilai kehilangan dielektrik akan berbanding lurus seiring dengan peningkatan suhu *annealing*. Panas

yang dihasilkan adalah energi yang tidak diperlukan oleh piranti sehingga menimbulkan hambatan yang menimbulkan panas dan menjadi kerugian dielektrik pada bahan BT-BZT. Peningkatan suhu *annealing* berakibat pada peningkatan jumlah dipol sehingga hambatan yang dihasilkan akan semakin besar dan kehilangan dielektrik akan meningkat. Akibat dari peningkatan kehilangan dielektrik ini adalah kehilangan dielektrik pada sampel BT-BZT800 akan lebih besar dibanding dengan kehilangan dielektrik pada sampel BT-BZT700 dan pada sampel 750. Kehilangan dielektrik akan berbanding lurus dengan frekuensi. Frekuensi yang semakin besar menimbulkan getaran yang besar dan menghasilkan energi panas yang tidak diperlukan (Abomostafa & Turkey, 2020).

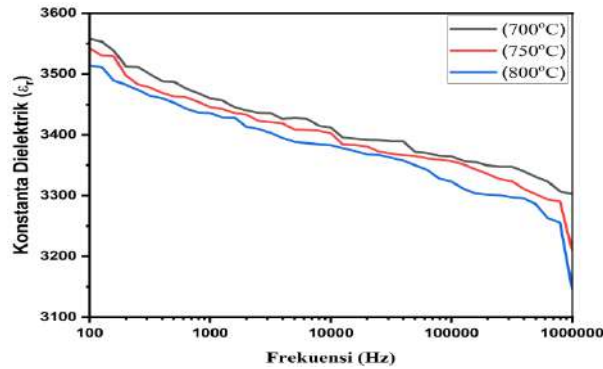
- **Spektroskopi Impedansi Karakterisasi Komposisi (0,8)BaTiO₃-(0,2)BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O₃**

Pembuatan lapisan tipis Barium Zirkonium Titanat (BZT) telah berhasil dibuat dengan komposisi bahan (0,8)BaTiO₃-(0,2)BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O₃ yang disintesis menggunakan metode sol-gel pada suhu *annealing* 700°C, 750°C, dan 800°C. Sifat optik berupa absorbansi, reflektansi, dan celah pita dianalisa menggunakan karakterisasi spektroskopi Ultraviolet – Visible, struktur kristal dianalisa menggunakan karakterisasi X-Ray Diffraction, morfologi bahan berupa ukuran butiran kristal dan ketebalan sampel dianalisa menggunakan karakterisasi *Field Emission Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (FESEM-EDX) dan sifat dielektrik dianalisa menggunakan karakterisasi Spektroskopi Impedansi. Sampel BT-BZT dapat diaplikasikan sebagai bahan dielektrik dalam pembuatan kapasitor keramik multilayer (MLCC).

Karakterisasi spektroskopi Impedansi bertujuan untuk mengetahui sifat kelistrikan seperti konstanta dielektrik dan kapasitansi dari film BT-BZT dengan melihat hubungan antara nilai konstanta dielektrik terhadap frekuensi dan kapasitansi dielektrik terhadap frekuensi. Besar frekuensi tegangan AC yang diberikan pada pengukuran ini adalah 100 - 1 MHz. Nilai konstanta dielektrik ditentukan menggunakan Persamaan (2.13) yang disajikan dalam grafik hubungan konstanta dielektrik terhadap frekuensi pada Gambar 3.34

Perhitungan sampel yang di *annealing* pada suhu 700 °C didapat konstanta dielektrik yang tertinggi yaitu 3557 pada frekuensi 100 Hz, sedangkan nilai konstanta dielektrik terendah yaitu 3302 pada frekuensi 1 MHz. Sampel yang di *annealing* pada suhu 750 °C didapat konstanta dielektrik yang tertinggi yaitu 3542 pada frekuensi 100

Hz sedangkan nilai konstanta dielektrik terendah yaitu 3209 pada frekuensi 1 MHz. Sampel yang *diannealing* pada suhu 800 °C didapat konstanta dielektrik yang tertinggi yaitu 3146 pada frekuensi 100 Hz sedangkan nilai konstanta dielektrik terendah yaitu 3514 pada frekuensi 1 MHz.



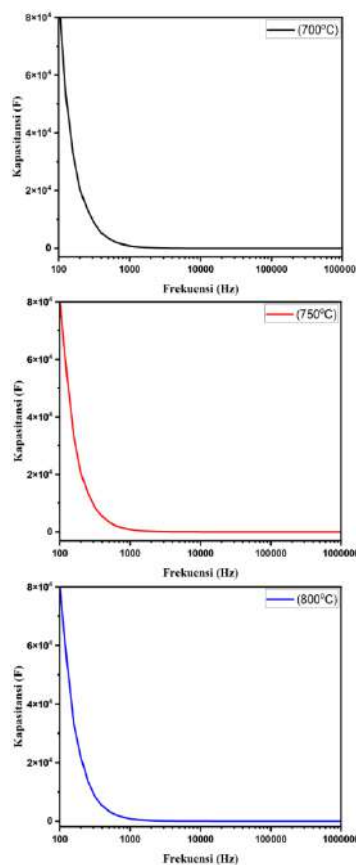
Gambar 3. 34. Hubungan konstanta dielektrik terhadap frekuensi pada suhu 700°C, 750°C, dan 800°C

Frekuensi sangat mempengaruhi nilai dari konstanta dielektrik, dimana semakin kecil frekuensi maka nilai konstanta dielektrik semakin besar, sesuai dengan Dewi, Siswanto, *et al.*, (2017) menyatakan sampel $\text{Ba}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{TiO}_3$ pada suhu 600°C dan 650°C dengan frekuensi 100 Hz, nilai konstanta dielektrik pada suhu 600°C mencapai nilai maksimum 55,6 dan pada suhu 650°C sebesar 52,9. Frekuensi paling tinggi 1 MHz nilai konstanta dielektrik pada suhu 600 °C sebesar 0,672 dan pada suhu 650°C sebesar 0,639 (Dewi, Siswanto, *et al.*, 2017).

Pengukuran spektroskopi impedansi memberikan data nilai kapasitansi yang dihitung menggunakan Persamaan (2.8) dan disajikan dalam grafik hubungan antara kapasitansi terhadap frekuensi seperti Gambar 3.35. Gambar 3.35 menunjukkan penurunan nilai kapasitansi seiring peningkatan frekuensi. Sampel yang *diannealing* pada suhu 700°C didapat kapasitansi tertinggi yaitu 88.313 F pada frekuensi 100 Hz sedangkan nilai kapasitansi terendah yaitu $8,59 \times 10^{-4}$ F pada frekuensi 1 MHz. Sampel yang *diannealing* pada suhu 750°C didapat kapasitansi tertinggi yaitu 80.881 F pada frekuensi 100 Hz sedangkan nilai kapasitansi terendah yaitu $8,51 \times 10^{-4}$ F pada frekuensi 1 MHz. Sampel yang *diannealing* pada suhu 800°C didapat kapasitansi tertinggi yaitu 80.630 F pada frekuensi 100 Hz sedangkan nilai kapasitansi terendah yaitu $8,33 \times 10^{-4}$ F pada frekuensi 1 MHz. Semakin besar frekuensi yang diberikan maka

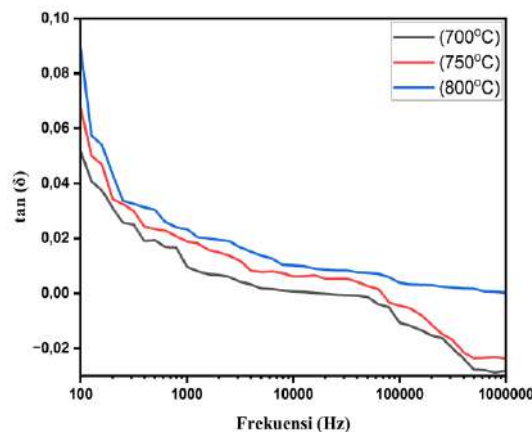
semakin kecil nilai kapasitansi dan sebaliknya semakin kecil frekuensi yang diberikan maka nilai kapasitansinya akan semakin besar (Shandilya *et al.*, 2021).

Peningkatan suhu *annealing* mempengaruhi nilai kapasitansi pada tiap frekuensi. Semakin besar suhu *annealing* diberikan pada sampel $(0,8)\text{BaTiO}_3-(0,2)\text{BaZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$ maka semakin besar nilai kapasitansi. Arus yang diberikan pada pengukuran spektroskopi impedansi adalah arus AC. Arus AC berbanding lurus dengan frekuensi, semakin besar frekuensi maka semakin besar arus yang mengalir, begitupun sebaliknya. Arus yang besar menyebabkan resistansinya menjadi kecil. Impedansi merupakan nilai resistansi dari suatu rangkaian listrik sebagai respon terhadap tegangan listrik AC yang diberikan pada rangkaian tersebut (Dewi, Rahayu, *et al.*, 2017). Peningkatan suhu *annealing* mempengaruhi nilai kapasitansi selaras dengan buku yang dilakukan oleh Dewi, Siswanto, *et al.*, (2017) pembuatan film tipis $\text{Ba}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{TiO}_3$ dengan variasi suhu 600°C dan 650°C . Pada suhu 600°C menggunakan frekuensi 100 Hz didapat nilai kapasitansi paling besar yaitu sebesar $3,4 \times 10^{-7}$ F dan pada suhu 650°C sebesar $7,72 \times 10^{-7}$ F. Pada suhu 600°C menggunakan frekuensi paling tinggi 1 MHz didapat nilai kapasitansi sebesar $4,1 \times 10^{-9}$ F dan suhu 650°C sebesar $9,34 \times 10^{-9}$ F.



Gambar 3. 35. Hubungan kapasitansi terhadap frekuensi pada suhu 700°C , 750°C , dan 800°C

Nilai kehilangan dielektrik ditentukan menggunakan grafik dari hubungan antara kehilangan dielektrik terhadap frekuensi ditunjukkan pada Gambar 3.36. Gambar 3.36 menunjukkan kehilangan dielektrik pada suhu 800°C lebih besar dari pada kehilangan dielektrik pada suhu 700°C dan 750°C, hal ini menunjukkan bahwa kehilangan dielektrik berbanding lurus dengan kenaikan suhu annealing. Nilai kehilangan dielektrik pada suhu 700°C yang tertinggi yaitu 0,051 pada frekuensi 100 Hz sedangkan nilai kehilangan dielektrik yang terendah yaitu -0,028 pada frekuensi 1 MHz. Sampel yang di *annealing* pada suhu 750 °C didapat nilai kehilangan dielektrik yang tertinggi yaitu 0,067 pada frekuensi 100 Hz sedangkan nilai kehilangan dielektrik yang terendah yaitu -0,023 pada frekuensi 1 MHz. Nilai kehilangan dielektrik pada suhu 800°C yang tertinggi yaitu 0,089 pada frekuensi 100 Hz sedangkan nilai kehilangan dielektrik yang terendah yaitu $2,196 \times 10^{-4}$ pada frekuensi 1 MHz.



Gambar 3. 36. Hubungan $\tan \delta$ terhadap frekuensi pada suhu 700°C, 750°C, dan 800°C

Nilai kehilangan dielektrik meningkat seiring dengan peningkatan suhu *annealing* juga ditunjukkan Ke *et al.*, (2020) film tipis BSO yang nilai kehilangan dielektrik diukur pada 100 kHz pada rentang suhu 500 – 550 K. Pada suhu 500°C nilai kehilangan dielektrik 0,01 dan suhu 550°C nilai kehilangan dielektrik 0,02. Nilai kehilangan dielektrik diakibatkan karena adanya disipasi energi pada bahan dielektrik. Energi dari bahan yang hilang akan diubah dalam bentuk lain seperti panas (Ke *et al.*, 2020). Panas yang dihasilkan ialah energi yang tidak diperlukan pada piranti. Hambatan bahan ini akan menimbulkan panas yang akan menjadi kerugian atau *tangent loss* bahan BT-BZT. Peningkatan suhu annealing menyebabkan dipol menjadi banyak, hambatan yang dihasilkan besar sehingga kehilangan dielektrik meningkat. Nilai kehilangan dielektrik

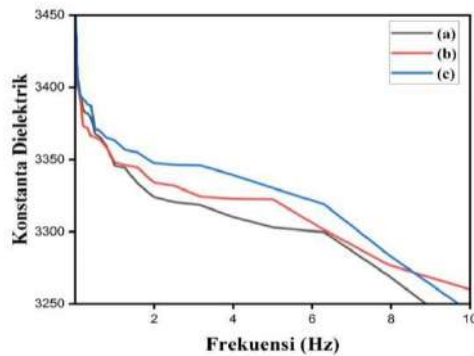
pada sampel BT-BZT pada suhu 800°C lebih besar dibandingkan dengan sampel BT-BZT pada suhu 700°C dan 750°C (Abomostafa et al., 2020).

- **Spektroskopi Impedansi Karakterisasi Komposisi (0,9)BaTiO₃-(0,1)BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O₃**

Analisa karakterisasi fisis dari komposisi bahan (0,9)BaTiO₃-(0,1)BaZr_{0,5}Ti_{0,5}O₃ dalam bentuk film tipis yang disintesis menggunakan metode sol gel. Sampel BT-BZT diberi label nama sesuai dengan suhu *annealing*nya, yaitu BT-BZT 700, BT-BZT 750, dan BT-BZT 800. Sifat optik, struktur, dan morfologi sampel BT-BZT dianalisa berdasarkan karakterisasi menggunakan spektroskopi Uv-Vis, XRD, dan FESEM-EDX. Sedangkan sifat dielektrik dianalisa berdasarkan karakterisasi menggunakan spektroskopi impedansi. Sampel BT-BZT dalam dapat diaplikasikan sebagai bahan dielektrik dalam pembuatan kapasitor keramik multilayer (MLCC).

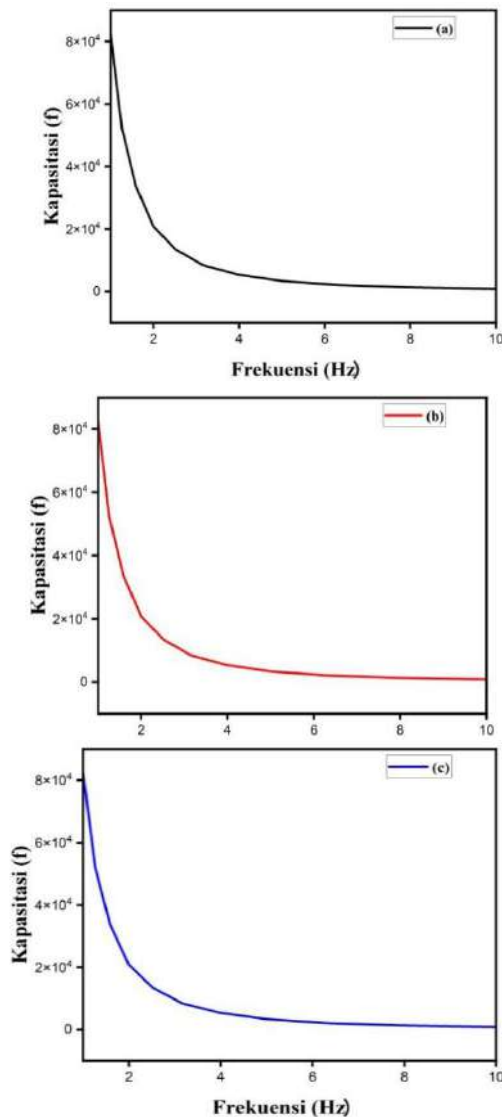
Karakterisasi spektroskopi impedansi bertujuan untuk mengetahui sifat kelistrikan seperti konstanta dielektrik dan kapasitansi dari film BT-BZT dengan melihat hubungan antara nilai konstanta dielektrik terhadap frekuensi dan kapasitansi dielektrik terhadap frekuensi. Besar frekuensi tegangan AC yang diberikan pada pengukuran ini adalah 100-1 MHz. Nilai konstanta dielektrik ditentukan menggunakan persamaan (4.13) yang disajikan dalam grafik hubungan konstanta dielektrik terhadap frekuensi pada Gambar 4.36.

Perhitungan sampel *diannealing* pada suhu 700°C didapat konstanta dielektrik yang tertinggi yaitu 3524,62 pada frekuensi 1 MHz, sedangkan nilai konstanta dielektrik terendah yaitu 3227,24 pada frekuensi 100 Hz. Sampel yang *diannealing* pada suhu 750°C didapat konstanta dielektrik tertinggi yaitu 3589,69 pada frekuensi 1 MHz, sedangkan nilai konstanta dielektrik terendah yaitu 3263,76 pada frekuensi 100 Hz. Sampel yang *diannealing* 800°C didapat konstanta dielektrik yang tertinggi yaitu 3647,34 pada frekuensi 1 MHz sedangkan nilai konstanta dielektrik terendah yaitu 3102,68 pada frekuensi 100 Hz.



Gambar 3. 37. Hubungan konstanta dielektrik terhadap frekuensi pada sampel (a) BT-BZT700 (b) BT- BZT750 (c) BT-BZT800

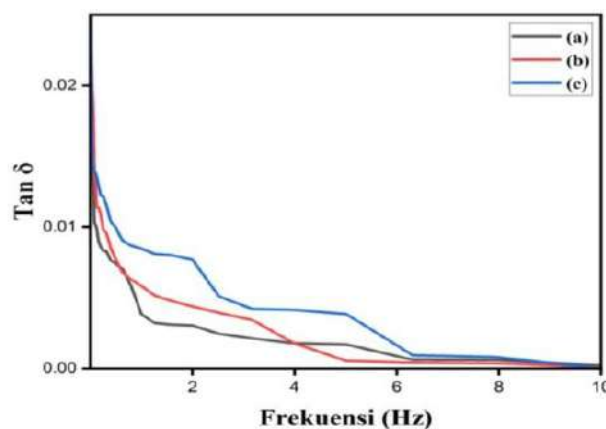
Frekuensi sangat mempengaruhi nilai dari konstanta dielektrik, dimana semakin kecil frekuensi maka nilai konstanta dielektrik semakin besar sesuai dengan Dewi, Siswanto et al (2017) menyatakan sampel $\text{Ba}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{TiO}_3$ pada suhu 600°C dan 650°C dengan frekuensi 100 Hz, nilai konstanta dielektrik pada suhu 600°C mencapai nilai maksimum 55,6 dan pada suhu 650°C sebesar 52,9. Frekuensi paling tinggi 1 MHz nilai konstanta dielektrik pada suhu 600°C sebesar 0,672 gram dan pada suhu 650°C sebesar 0,639 (Dewi, 2017). Peningkatan suhu annealing mempengaruhi nilai kapasitansi pada tiap frekuensi. Semakin besar suhu anealing diberikan pada sampel maka semakin besar nilai kapasitansinya. Arus yang diberikan pada pengukuran spektroskopi impedansi adalah arus AC. Arus AC berbanding lurus dengan frekuensi, semakin besar frekuensi maka semakin besar arus yang mengalir. Impedansi merupakan nilai resistansi dari suatu rangkaian listrik sebagai respon terhadap tegangan listrik AC yang diberikan pada rangkaian tersebut (Dewi Rahayu, et al.,2017)



Gambar 3. 38. Hubungan Kapasitansi terhadap frekuensi pada sampel (a) BT-BZT700 (b) BT-BZT750 (c) BT-BZT800

Gambar 3.38 menunjukkan jika terjadi penurunan nilai kapasitansi seiring dengan peningkatan frekuensi. Hal ini sesuai dengan persamaan (2.12) yang menunjukkan jika kapasitansi berbanding terbalik dengan frekuensi pada tegangan AC. Pada suhu 700, nilai kapasitansi nya tertinggi yaitu $8,22 \times 10^4$ pada frekuensi 100 Hz sedangkan nilai kapasitansi terendah yaitu $8,25 \times 10^{-4}$ pada frekuensi 1 MHz. Pada suhu 750 nilai kapasitansi tertinggi yaitu $8,77 \times 10^4$ pada frekuensi 100 Hz sedangkan nilai kapasitansi terendah yaitu $8,28 \times 10^{-4}$ pada frekuensi 1 MHz. Pada suhu 800 nilai kapasitansi tertinggi yaitu $8,91 \times 10^4$ pada frekuensi 100 Hz sedangkan nilai kapasitansi terendah yaitu $8,55 \times 10^{-4}$ pada frekuensi 1 MHz

Peningkatan kerapatan pada sampel menyebabkan nilai kristalinitas akan semakin membaik. Hal ini selaras dengan yang sebelumnya dilakukan oleh Dewi (2022). Hal ini membuat lapisan tipis dengan metode sol gel dan sampel yang digunakan adalah $\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.6}\text{TiO}_3$ dengan variasi suhu *annealing* 600, 650, dan 700°C. Pada suhu *annealing* 600°C nilai kapasitansi yang didapatkan oleh sampel BST $1,44 \times 10^{-9}$, nilai kapasitansi yang didapatkan pada suhu *annealing* 650°C adalah $6,89 \times 10^{-9}$, dan pada suhu *annealing* 700°C nilai kapasitansi yang didapatkan adalah $22,10 \times 10^{-9}$. pembuatan lapisan tipis dengan komposisi $\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.6}\text{TiO}_3$ ini menunjukkan jika nilai kapasitansi akan meningkat seiring dengan peningkatan suhu *annealing*.



Gambar 3. 39. Hubungan Tan terhadap frekuensi pada sampel (a) BT-BZT700 (b) BTBZT750 (c) BT-BZT800

Gambar 3.39 menunjukkan jika nilai kehilangan dielektrik tertinggi ditunjukkan oleh suhu 800°C. Nilai kehilangan dielektrik pada sampel BT-BZT700 yang terendah adalah $3,02 \times 10^{-6}$ pada frekuensi 1 MHz dan yang tertinggi adalah 0,0547 pada frekuensi 100 Hz. Pada sampel BT-BZT750 nilai kehilangan dielektrik terendah adalah $6,66 \times 10^{-6}$ pada frekuensi 1 MHz dan yang tertinggi adalah 0,06824 pada frekuensi 100 Hz. Pada sampel BT-BZT800 nilai kehilangan dielektrik terendah adalah $8,82 \times 10^{-5}$ pada frekuensi 1 MHz dan yang tertinggi adalah 0,07098 pada frekuensi 100 Hz. Hal ini menunjukkan bahwa kehilangan dielektrik berbanding lurus dengan kenaikan suhu *annealing*. Nilai kehilangan dielektrik diakibatkan karena adanya disipasi energi pada bahan dielektrik. Energi dari bahan yang hilang akan diubah dalam bentuk lain seperti panas. Energi panas timbul karena adanya hambatan bahan (Sangwan et al.,2018) Panas yang dihasilkan adalah energi yang tidak diperlukan oleh piranti sehingga

menimbulkan hambatan yang menimbulkan panas dan menjadi kerugian dielektrik pada bahan BT-BZT. Peningkatan suhu *annealing* berakibat pada peningkatan jumlah dipol sehingga hambatan yang dihasilkan akan semakin besar dan kehilangan dielektrik akan meingkat. Nilai kehilangan dielektrik pada sampel BT-BZT pada suhu 800°C lebih besar dibandingkan dengan sampel BT-BZT pada suhu 700°C dan 750 (Abomostafa et al., 2020).

BAB IV

PENUTUP

Film tipis berbasis Barium Titanate-Barium Zirconium Titanate (BT-BZT) memiliki potensi yang signifikan sebagai bahan dielektrik pada berbagai aplikasi elektronik, khususnya dalam pengembangan kapasitor keramik multilayer (MLCC). Melalui metode sintesis sol-gel dan teknik karakterisasi yang komprehensif, buku ini menguraikan dengan detail langkah-langkah pembuatan hingga analisis struktur dan sifat material.

Meskipun penelitian ini telah memberikan hasil yang menjanjikan, penulis menyadari adanya keterbatasan yang memerlukan eksplorasi lebih lanjut, seperti optimasi parameter sintesis dan karakterisasi tambahan untuk memperdalam pemahaman tentang material ini. Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk perbaikan karya ilmiah ini di masa depan.

Akhir kata, semoga buku ini dapat menjadi sumber referensi yang bermanfaat bagi mahasiswa, peneliti, dan praktisi di bidang sains dan teknologi, serta memberikan kontribusi bagi perkembangan teknologi material masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullahi, S. S., Güner, S., Koseoglu, Y., Musa, I. M., Adamu, B. I., & Abdulhamid, M. (2016). Simple Method For The Determination of Band Gap of a Nanopowdered Sample Using Kubelka Munk Theory. *Journal of the Nigerian Association of Mathematical Physics*, 35(May), 241–246.
- Abomostafa, H. M., & Turkey, G. M. (2020). Microstructure and dielectric study of pure BST and doped BSTF ceramic materials by broadband dielectric spectroscopy. *Current Applied Physics*.
- Alex Pandian, S., & Sivakumar, M. (2023). Barium titanate perovskite nanoparticles integrated reduced graphene oxide nanocomposite photoanode for high performance dye-sensitized solar cell. *Results in Chemistry*, 6(August), 101091.
- Alluqmani, S. M., Loulou, M., Ouerfelli, J., Alshahrie, A., & Salah, N. (2021). Annealing effect on structural and optical properties of nanostructured carbon of oil fly ash modified titania thin-film. *Results in Physics*,
- Bhargavi, M., Lather, A. S., Poonia, K., Tseng, C., Lee, C., Balaraman, A. A., & Dutta, S. (2022.). A study of enhanced structural , microstructural and dielectric behaviour of aliovalent ions doped A study of enhanced structural , microstructural and dielectric. 0–8.
- Budiasih, K. S., Prodjosantosa, A., Utomo, M. P., & Christyan, T. (2019). Sintesis dan Aplikasi SiO₂ dari Daun Bambu Wulung (*Gigantochloa atroviolacea*) Sebagai Pengembangan Fotokatalis untuk Degradasi Pewarna Congo Red. *J. Sains Dasar*, 8(1), 1–5.
- Buscaglia, V., Buscaglia, M. T., & Canu, G. (2021). BaTiO₃-based ceramics: Fundamentals, properties and applications. In *Encyclopedia of Materials: Technical Ceramics and Glasses* (Vols. 3–3, pp. 311–344). Elsevier.
- Brisse, A., Sauvet, A. L., Barthet, C., Georges, S., & Fouletier, J. (2007). Microstructural and electrochemical characterizations of an electrolyte with an apatite structure, La₉Sr₁Si₆O_{26.5}. *Solid State Ionics*, 178(23–24), 1337–1343.
- Cai, W., Fu, C., Gao, J., & Chen, H. (2009). Effects of grain size on domain structure and ferroelectric properties of barium zirconate titanate ceramics. *Journal of Alloys and Compounds*, 480(2), 870–873.
- Chiodoni, A., Laviano, F., Gerbaldo, R., Ghigo, G., Gozzelino, L., Mezzetti, E., Minetti, B., & Kwok, W. K. (2010). Understanding the role of heavy ion-irradiation induced surface columnar nanostructures through FESEM imaging. *Physica C: Superconductivity and Its Applications*, 470(19), 914–917.
- Colpan, C. O., Nalbant, Y., & Ercelik, M. (2018). Fundamentals of Fuel Cell Technologies. *Comprehensive Energy Systems*, 4–5, 1107–1130.

- Crayston, J. A. (2003). Sol-Gel. In *Comprehensive Coordination Chemistry II* (pp. 711–730). Elsevier.
- Das, B., & Ti, Z. (2021). Rietveld refinement structure , electric , dielectric and ferroelectric properties of lead-free. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32(4), 4916–4936.
- Dewi, R, Kriman, Zuhdi, Ari S R. dan T Lukman. (2022). Pembuatan Karakteristik Nanopartikel Film Tipis Ba_{0.4}Sr_{0.6}TiO₃. Artikel Buku, 19(19), 6178.
- Du, W., Zeng, H., Yang, W., Zhao, K., Zhang, F., Li, G., Li, Y., & Liu, Z. (2023). Unusual local electric field concentration in multilayer ceramic capacitors. *Journal of Materiomics*, 9(2), 403–409.
- Elviana, S. (2021). Analisa Suhu Tahan Annaeling dengan Menggunakan Karakterisasi SEM". Universitas Riau
- Fathoni, I., Iswarin, S. J., & Triandi, R. (2013). *Studi Penumbuhan Lapisan Tipis PZT dengan Metode Spin Coating*. 1(1):53–56.
- Gao, C., Zhai, J., & Yao, X. (2005). Preparation and dielectric properties of Ba(Zr_xTi_{1-x})O₃ thin films grown by a sol-gel process. *Integrated Ferroelectrics*, 74(August 2015), 147–153.
- Hadiati, S., Ramelan, a H., Variiani, V. I., Hikam, M., Soegijono, B., Saputri, D. F., & Iriani, Y. (2014). Kajian Variasi Temperatur *Annealing* dan holding time Metode Sol-Gel. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 10(1)37-41.
- Hemeda, O. M., Salem, B. I., Abdelfatah, H., Abdelsatar, G., & Shihab, M. (2019). Dielectric and ferroelectric properties of barium zirconate titanate ceramics prepared by ceramic method. *Physica B: Condensed Matter*, 574(July), 411680.
- Hemeda, O. M., Salem, B. I., & Mostafa, M. (2020). Structural and electric properties of strontium barium titanate prepared by tartrate precursor method. *The European Physical Journal Plus*, 123.
- Islam, S., Khatun, N., Habib, M. S., Uddin Farhad, S. F., Tanvir, N. I., Ali Shaikh, M. A., Tabassum, S., Islam, D., Hossain, M. S., & Siddika, A. (2022). Effects of yttrium doping on structural, electrical and optical properties of barium titanate ceramics. *Heliyon*, 8(9), e10529.
- Ilsatoham, M., Alkian, I., Azzahra, G., Hidayanto, E., & Sutanto, H. (2023). Results in Engineering Effect of substrate temperature on the properties of Bi₂O₃ thin films grown by sol-gel spray coating. *Results in Engineering*, 17(December 2022), 100991.
- Istiqomah, M., Anif, J & Yofentina, I. (2014). *Pembuatan Material Feroelektrik Barium Titanat (BaTiO₃) Menggunakan Metode Solid State Reaction*. Jurnal Fisika

Indonesia. *XVIII*(53), 59–62.

Jin, X., Zhang, Y. Y., & Du, S. (2023). Recent progress in the theoretical design of two-dimensional ferroelectric materials. *Fundamental Research*, 3(3), 322–331.

Jumingin, & Setiawati, S. (2016). Kajian Ketebalan Tanah Liat Sebagai Bahan Dielektrik Kapasitor Pelat Sejajar. *Sainmatika: Jurnal Ilmiah Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 13(1), 22–26.

Karlina, L., Sanjaya, H., Budiman, S., & Padang, U. N. (2023). Metode Sintesis Nanopartikel TiO₂. *Jurnal Pendidikan dan Sains*. 3(6): 1199–1214.

Kaushik, V., Kumar, V., Kumar, D., Kumar, R., Singh, V., Kumar, M., & Sharma, S. K. (2023). Applied Surface Science Advances Effect of aging on microstructural and optical properties of sol-gel dip coated BaTiO₃ thin films. *Applied Surface Science Advances*, 16(April), 100418

Khan, H., Yerramilli, A. S., D'Oliveira, A., Alford, T. L., Boffito, D. C., & Patience, G. S. (2020). Experimental methods in chemical engineering: X-ray diffraction spectroscopy—XRD. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 98(6), 1255–1266.

khawiyatur, R (2020). Sintesis dan Karakterisasi BiTi₃O₁₂ Terdoping Vanadium dengan Metode Lelehan Garam Tunggal NaCl. UIN Malang.

Li, J. Y., & Liu, D. (2004). On ferroelectric crystals with engineered domain configurations. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 52(8), 1719–1742.

Liu, C., Tian, Q., & Liao, L. (2020). Sol-gel precursor inks and films. In *Solution Processed Metal Oxide Thin Films for Electronic Applications* (pp. 41–61). Elsevier.

Lukong, V. T., Ukoba, K., Yoro, K. O., & Jen, T. C. (2022). Annealing temperature variation and its influence on the self-cleaning properties of TiO₂ thin films. *Heliyon* 8(May).

Modena, M. M., Rühle, B., Burg, T. P., & Wuttke, S. (2019). Nanoparticle Characterization: What to Measure? *Advanced Materials*, 31(32), 1–26.

Mofokeng, S. J., Molefe, F. V, Kroon, R. E., Swart, H. C., & Mokoena, T. P. (2023). Heliyon Substrate temperature dependence of structure and optical properties of ZnTiO₃ : Er³⁺ / Yb³⁺ thin films synthesized by pulsed laser deposition. *Heliyon*, 9(5), e16259.

Muscetta, M., Andreozzi, R., Clarizia, L., Marotta, R., Palmisano, G., Policastro, G., Race, M., Yusuf, A., & Di Somma, I. (2023). Recovery of nickel from spent multilayer ceramic capacitors: A novel and sustainable route based on sequential hydrometallurgical and photocatalytic stages. *Separation and Purification Technology*, 326(July), 124780.

Nasiri, S., Rabiei, M., Palevicius, A., Janusas, G., Vilkauskas, A., Nutalapati, V., & Monshi, A.

- (2023). Modified Scherrer equation to calculate crystal size by XRD with high accuracy, examples Fe₂O₃, TiO₂ and V₂O₅. *Nano Trends*, 3(July), 100015.
- Novak, N., Weyland, F., & Jr, G. A. R. (2021). Electrocaloric properties and caloric figure of merit in the ferroelectric solid solution BaZrO₃-BaTiO₃ (BZT). *Journal of the European Ceramic Society*, 41(2), 1280–1287.
- Noviyanti, A. R., Prijamboedi, B., Nyoman Marsih, I., & Ismunandar. (2012). Hydrothermal preparation of apatite-type phases La_{9.33}Si₆O₂₆ and La₉M₁Si₆O_{26.5} (M = Ca, Sr, Ba). *ITB Journal of Science*, 44 (2), 193–203.
- Nurjanah, N., Aini, Q., Adzkie, A., Rustana, R., Citra Caroline, S., Maulida Agustine, S., Bayu, A., & Nandiyanto, D. (2022). A Review: Nanoparticles NiFe₂O₄ Synthesis and Its Application as Hyperthermia Agents in Biomedicine. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 11(2), 103–113.
- Panda, R., Dinkar, O. S., Jha, M. K., & Pathak, D. D. (2020). Hydrometallurgical processing of waste multilayer ceramic capacitors (MLCCs) to recover silver and palladium. *Hydrometallurgy*, 197(October 2019), 105476.
- Physics, P., No, V., Yani, S. R., Djamal, D., Fisika, J., Matematika, F., Alam, P., Padang, U. N., Prof, J., & Air, H. (2019). *R. 12*(1), 8–15.
- Potong, R., Rianyoi, R., Ngamjarurojana, A., & Chaipanich, A. (2014). Fabrication and performance investigation of 2-2 connectivity lead-free barium zirconate titanate-Portland cement composites. *Ceramics International*, 40(6), 8723–8728.
- Phulé, P. P., & Wood, T. E. (2001). Ceramics and Glasses, Sol-Gel Synthesis of. In *Encyclopedia of Materials: Science and Technology* (pp. 1090–1095). Elsevier.
- Rivero, K. T., Bastos-Arrieta, J., Fiol, N., & Florido, A. (2021). Metal and metal oxide nanoparticles: An integrated perspective of the green synthesis methods by natural products and waste valorization: applications and challenges. In *Comprehensive Analytical Chemistry*. Elsevier B.V. 1(94):433-469.
- Rondinini, S., Ardizzzone, S., Cappelletti, G., Minguzzi, A., & Vertova, A. (2009). MATERIALS | Sol-Gel Synthesis. In *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources* (pp. 613–624). Elsevier.
- Saragih, H., Aliah, H., Sunan, U., Djati Bandung, G., Sustini, E., & Hutapea, A. M. (2010). Sifat Optik Lapisan Tipis In 2 O 3 yang Ditumbuhkan dengan Metode MOCVD Diabetes Mellitus Type 2 View project Inquiry View project. *Jurnal Matematika dan Sains*. 2(15):85-92
- Senthil, P., Priyanka, R., Vijay, M., & Kaviya Vikashini, G. R. (2021). Field Emission Scanning Electron Microscopy (Fesem) with A Very Big Future in Pharmaceutical Research. *Pharmaceutical Sciences* 11(2), 2321–3272.

- Shkuratov, S. I., & Lynch, C. S. (2022). A review of ferroelectric materials for high power devices. *Journal of Materiomics*, 8(4), 739–752.
- Suryanarayana, C., & Norton, M. G. (1998). Lattices and Crystal Structures. In *X-Ray Diffraction*. Washing State University. Pullman, Washington.
- Umiati, N. A. K., Irzaman, Budiman, M., & Barmawi, M. (2001). Kontribusi Fisika Indonesia. *Kontribusi Fisika Indonesia*, 12(4), 2–6.
- Wang, X., Ehsan, H., Abbas, M., Akram, G., Sadaf, M., & Abdeljawad, T. (2023). Analytical solitary wave solutions of a time-fractional thin-film ferroelectric material equation involving beta-derivative using modified auxiliary equation method. *Results in Physics*, 48(February), 106411.
- Wittinanon, T., Rianyoi, R., & Chaipanich, A. (2020). Effect of polyvinylidene fluoride on the fracture microstructure characteristics and piezoelectric and mechanical properties of 0-3 barium zirconate titanate ceramic-cement composites. *Journal of the European Ceramic Society*, 40(14), 4886–4893.
- Xu, D., Yuan, C., & Tang, J. (2023). Study on electrochemical and X-ray diffraction fingerprint of Tibetan medicine “zuotai.” *International Journal of Electrochemical Science*, 18(9), 100259.
- Yani, S.R. Djamas, D. (2019). Analisis Sifat Listrik Nanokomposit NiFe₂/PANI yang disintesis dengan Metode Sol Gel, Fisika, J., Matematika, F., Alam, P., Padang, U. N., Prof. J., dan Air, H. 12(1), 8-15
- Zaidah, A. (2019). Karakterisasi Mikrostruktur Material Feroelektrik Barium Stronsium Titanat (Ba_xSr_{1-x}TiO₃) dan Stronsium Titanat (SrTiO₃) dengan Variasi Suhu Sintering. *JUPE : Jurnal Pendidikan Mandala*, 4(5), 376–378.
- Zaidah, A. (2020). Karakterisasi Struktur Morfologi Material Feroelektrik Barium Stronsium. 5(5), 19–22.