

DOI: doi.org/10.21009/03.1401.FA12

ANALISIS ENERGI GAP FILM TIPIS $Ba_{0,625}Sr_{0,375}TiO_3$ DI ATAS SUBSTRAT KACA INDIUM TIN OXIDE (ITO) DAN SUBSTRAT Si (100) TIPE-P

Ayu Bonita Pertiwi Harianja ^{a)}, Ira Saira ^{b)}, Novia Fransiska Simbolon ^{c)},
Dea Widiawati ^{d)}, Renny Apriani Dwika Saputri ^{e)}, Habibah Assa'addah ^{f)},
dan Irzaman ^{g)}

Program Studi Fisika, FMIPA IPB University, Jl. Raya Dramaga, Kampus IPB Dramaga Bogor, 16680 Jawa Barat, Indonesia

Email: ^{a)}ayubonitapertiwi@apps.ipb.ac.id, ^{b)}irasairaira@apps.ipb.ac.id,
^{c)}noviafransiskasimbolon@apps.ipb.ac.id, ^{d)}deawidiawatidea@apps.ipb.ac.id,
^{e)}radsrenny@apps.ipb.ac.id, ^{f)}assa2003assaaddah@apps.ipb.ac.id, ^{g)}irzaman@apps.ipb.ac.id

Abstrak

Lapisan tipis $Ba_{0,625}Sr_{0,375}TiO_3$ di atas substrat kaca Indium Tin Oxide (ITO) dan Substrat Si (100) Tipe P telah berhasil dibuat dengan metode *Chemical Solution Deposition* (CSD) dengan kelarutan 0,5 M yang dibantu dengan spin coating 3000 rpm, dan annealing pada temperatur 550°C dengan kelajuan suhu 100 °C/jam yang ditahan selama 16 jam dan suhu pendinginan hingga suhu kamar. Substrat kaca Indium Tin Oxide (ITO) dengan ketebalan kaca 1,1 mm dan resistivitas ~20 ohm/sq dan resistivitas Si tipe-P ~10 ohm/sq. Lapisan tipis ini diuji sifat optiknya menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dengan rentang 230-850 nm dan menghasilkan celah energi sebesar 2,89 eV di atas substrat ITO dan celah energi sebesar 2,42 eV di atas substrat Si (100) tipe P. Analisis celah energi film tipis $Ba_{0,625}Sr_{0,375}TiO_3$ di atas substrat kaca Indium Tin Oxide (ITO) dan di atas substrat Si (100) tipe P sangat penting dilakukan karena film ini merupakan cikal bakal sensor suhu.

Kata-kata Kunci: BST, ITO, Si (100) Tipe-P, CSD, celah energi.

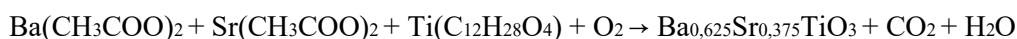
Abstract

Thin films of $Ba_{0.625}Sr_{0.375}TiO_3$ on Indium Tin Oxide (ITO) glass substrate and Si (100) Type P substrate have been successfully prepared by Chemical Solution Deposition (CSD) method with 0.5 M solubility assisted by 3000 rpm spin coating, and annealing at 550°C with temperature speed of 100°C/hour held for 16 hours and cooling to room temperature. Indium Tin Oxide (ITO) glass substrate with glass thickness of 1.1 mm and resistivity of ~20 ohm/sq and P-type Si resistivity of ~10 ohm/sq. These thin films were tested for optical properties using a UV-Vis Spectrophotometer with a range of 230-850 nm and resulted in an energy gap of 2.89 eV over the ITO substrate and an energy gap of 2.42 eV over the P-type Si(100) substrate. The energy gap analysis of $Ba_{0.625}Sr_{0.375}TiO_3$ thin films over Indium Tin Oxide (ITO) glass substrate and over P-type Si(100) substrate is very important because these films are the forerunners of temperature sensors.

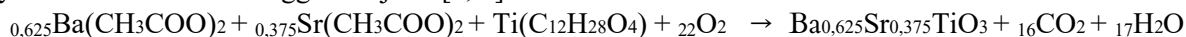
Keywords: Thin Film, ITO, Si (100) tipe-p, BST, CSD, Band Gap.

PENDAHULUAN

Ferroelektrik merupakan bahan dielektrik yang mempunyai polarisasi spontan serta mempunyai kemampuan mengubah polarisasi internalnya dengan menggunakan medan listrik yang sesuai [1, 2]. Salah satu jenis ferroelektrik yang memiliki potensi sebagai sensor suhu adalah piroelektrik. Material piroelektrik adalah bahan yang menghasilkan tegangan listrik ketika terjadi perubahan suhu [3]. Penelitian ini menggunakan bahan ferroelektrik yaitu Barium Strontium Titanat (BST) [1]. Film tipis Barium strontium titanat (BST) merupakan bahan yang memiliki konstanta dielektrik tinggi, kebocoran arus rendah dan tahan terhadap tegangan *breakdown* yang tinggi pada temperatur *Curie*. Temperatur *Curie* pada barium titanat adalah 130 °C. Penambahan strontium ke dalam barium titanat dapat menyebabkan penurunan suhu curie dan perubahan struktur. Penurunan suhu curie terhadap suhu ruang akan menyebabkan semakin besar nilai konstanta dielektrik dari Barium Strontium Titanat [4, 5, 6]. Film BST ini memiliki ketebalan dengan besaran mikron dan sifat semikonduktornya yang demikian membuatnya menjadi ideal untuk digunakan pada berbagai sensor, salah satunya adalah sensor suhu. Berikut ini adalah persamaan rekasi kimia dari larutan BST:



Larutan BST ini tidak dalam keadaan setara. Persamaan reaksi dikatakan setara, bila jumlah atom-atom zat-zat pereaksi pada ruas kiri sama dengan zat-zat hasil reaksi pada ruas kanan. Apabila jumlah atom sebelum dan sesudah reaksi belum sama, maka perlu disetarakan dengan cara membubuhkan koefisien reaksi namun indeks tidak boleh diubah. Maka dari itu persamaan reaksi kimia di atas harus dilakukan penyetaraan koefisien sehingga menjadi: [7, 8]



Berbagai teknik dapat digunakan untuk memproduksi film BST, antara lain *Metalorganic Chemical Vapor Deposition* (MOCVD), *Chemical Vapor Deposition* (CVD), *Sol-Gel*, *Atomic Layer Deposition* (ALD), *Metal Organic Decomposition* (MOD), *Pulsed Laser Ablation Deposition* (PLAD), *RF Sputtering*, dan *Chemical Solution Deposition* (CSD). Di antara metode tersebut, CSD menawarkan keunggulan seperti kemampuan mengontrol stoikiometri film dengan presisi tinggi, prosedur yang relatif sederhana, serta biaya produksi yang lebih rendah. Secara teknis, metode CSD melibatkan pengendapan larutan kimia pada substrat, yang kemudian diolah menggunakan teknik *spin coating* pada kecepatan rotasi tertentu untuk menghasilkan film tipis berkualitas [9, 10]. *Spin coating* adalah prosedur yang digunakan untuk melapisi permukaan datar dengan lapisan tipis dan merata. Caranya, sedikit cairan resin diletakkan di tengah permukaan, lalu permukaan tersebut diputar dengan sangat cepat, sehingga cairan menyebar rata membentuk lapisan tipis [8, 11]. Metode *spin coating* adalah cara yang paling sederhana untuk membuat film tipis. Meskipun caranya cukup mudah, metode ini bisa menghasilkan film tipis dengan kualitas yang sangat baik [11]. Namun kualitas film yang ditumbuhkan dengan teknik ini sangat peka terhadap parameter fabrikasi yang digunakan, antara lain pelarut, substrat dan temperatur *annealing* [12]. Penelitian ini menyajikan hasil fabrikasi dan karakterisasi film tipis $\text{Ba}_{0,625}\text{Sr}_{0,375}\text{TiO}_3$ (BST) pada substrat ITO dan Silikon tipe-p (100) menggunakan metode *Chemical Solution Deposition* (CSD).

Annealing merupakan proses pengaturan suhu yang kemudian dilanjutkan dengan penurunan suhu secara perlahan. Suhu *annealing* memiliki pengaruh yang signifikan dalam pembentukan sifat film BST terutama pada struktur dasar dan sifat morfologinya [13, 14]. Semakin tinggi suhu *annealing* maka akan berpengaruh pada peningkatan intensitas pada puncak [15]. Peningkatan suhu *annealing* menyebabkan puncak-puncak yang dominan muncul hanya pada bidang orientasi [8, 16]. Faktor suhu juga sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan butir suatu material. Faktor suhu ini ada berbagai macam diantaranya waktu tahan. Waktu tahan disini dimaksudkan waktu saat sampel dimasukkan dalam *furnance* setelah mencapai suhu tertentu kemudian ditahan. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan ukuran butir yang besar, karena pada saat penahanan ini butiran-butiran berinteraksi satu sama lain sehingga terjadi proses difusi membentuk butiran dengan ukuran yang lebih besar [17]. Film $\text{Ba}_{0,625}\text{Sr}_{0,375}\text{TiO}_3$ dikarakterisasi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis Ocean Optics USB4000 pada panjang gelombang cahaya tampak.

METODE

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen laboratorium untuk menganalisis energi gap film tipis $\text{Ba}_{0,625}\text{Sr}_{0,375}\text{TiO}_3$ yang disintesis pada substrat ITO dan Si (100) tipe-P. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi bahan kimia berupa bubuk Barium Asetat ($\text{Ba}(\text{CH}_3\text{COO})_2$), Stronsium Asetat ($\text{Sr}(\text{CH}_3\text{COO})_2$), Titanium Dioksida (TiO_2), pelarut 2-metoksiethanol, dan aquabides. Peralatan pendukung terdiri dari neraca digital, *magnetic stirrer*, *furnace Nabertherm*, spektrofotometer UV-Vis, serta alat laboratorium seperti spatula, pinset, *micro pipet*, dan kaca preparat.

Substrat yang digunakan terdiri dari dua jenis, yaitu Indium Tin Oxide (ITO) berukuran $2 \times 2 \text{ cm}^2$ sebanyak 1 buah dan Si (100) tipe-p berukuran $1 \times 1 \text{ cm}^2$ sebanyak 1 buah. Selanjutnya, substrat tersebut menjalani proses pencucian bertahap untuk memastikan tidak ada kontaminan yang tertinggal di permukaannya. Substrat dibilas dengan aquabides sebanyak 3 kali selama 5 menit, kemudian dilanjutkan dengan pencucian menggunakan etanol 1 kali selama 5 menit, dan terakhir dengan aseton 1 kali selama 5 menit. Setelah substrat ITO dan Si (100) tipe-p dibersihkan lalu keringkan dalam wadah yang telah dilapisi dengan tisu.

Proses pembuatan larutan film tipis BST dimulai dengan mencampurkan semua bahan kimia. Langkah pertama, yaitu menghaluskan serbuk $\text{Ba}(\text{CH}_3\text{OOH})_2$ dan $\text{Sr}(\text{CH}_3\text{OOH})_2$ dengan cara digerus, lalu menimbangannya sesuai perhitungan stoikiometri. Serbuk yang sudah dihaluskan dan ditimbang kemudian dimasukkan ke dalam botol kaca lalu ditambahkan 2 ml pelarut 2-metoksietanol. Larutan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 500 rpm dan suhu 90°C selama 2 jam hingga homogen, kemudian ditambahkan $\text{Ti}(\text{C}_{12}\text{H}_{28}\text{O}_4)$ dengan pengadukan lanjutan selama 1 jam. Metode penumbuhan film tipis pada penelitian ini menggunakan metode *Chemical solution deposition* (CSD) dengan kelarutan 0,5 M dan dilapisi sebanyak 2 kali. Substrat ITO dan Si (100) tipe-p diletakkan pada piringan reaktor *spin coating* yang diputar selama 60 detik pada kecepatan 3000 rpm.

Setelah proses pelapisan pada masing-masing larutan tersebut selesai, maka tahapan berikutnya adalah proses *annealing*. Tahap ini merupakan proses yang melibatkan pemanasan sampel hingga mencapai suhu yang ditentukan, diikuti dengan pendinginan pada laju tertentu. Film tipis $\text{Ba}_{0,625}\text{Sr}_{0,375}\text{TiO}_3$ dilakukan pemanasan pada suhu *annealing* 550°C untuk substrat ITO dan Si (100) tipe-p. Proses *annealing* dilakukan secara bertahap, dimulai dari suhu ruang kemudian dinaikkan dengan kelajuan suhu $100^\circ\text{C}/\text{jam}$ yang ditahan selama 16 jam. Kelajuan suhu pada *annealing* akan menghasilkan karakterisasi *film tipis* yang berbeda dalam hal struktur kristal, ketebalan dan ukuran butir [13, 14]. Selanjutnya dilakukan *furnance cooling* secara manual hingga kembali ke suhu ruang. Hasil film tipis dari bahan $\text{Ba}_{0,625}\text{Sr}_{0,375}\text{TiO}_3$ dikaji dengan cara uji sifat optik berupa pengambilan data dari nilai reflektansi untuk menganalisis *energy gap* film tipis.

Karakteristik optik film tipis BST dilakukan dengan menggunakan spektroskopi optik UV-Vis Ocean Optics USB4000 pada panjang gelombang cahaya tampak (230-850 nm) dan diolah menggunakan *software* Origin. Karakterisasi ini bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai sifat optik dari substrat ITO dan Si (100) tipe-p [18, 19]. Dari hasil spektrometer akan didapatkan kurva persen reflektansi terhadap panjang gelombang. Kemudian dianalisis nilai *energy gap* menggunakan metode Kubelka-Munk, di mana fungsi Kubelka-Munk digunakan untuk memperkirakan nilai *energy gap* dan mengidentifikasi sensitivitas spektrum cahaya pada film BST dengan memanfaatkan data reflektansi [19, 20]. Nilai *energy gap* kemudian diperoleh dengan menarik garis dari kurva dengan gradien tertinggi hingga memotong sumbu $h\nu$ dengan menggunakan persamaan (1), (2), (3) [21, 22, 23].

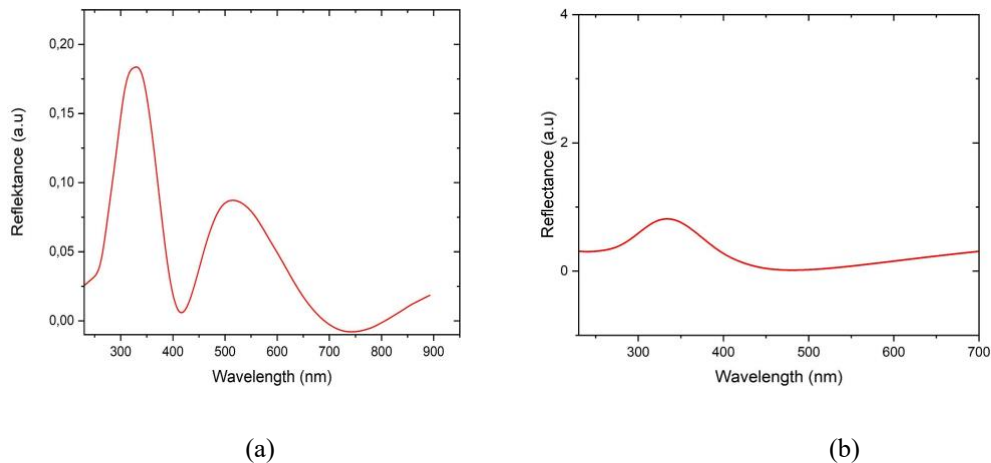
$$F(R) = \frac{K}{S} = (1 - R)^2 \propto \alpha_{K-M} \quad (1)$$

$$F(R) \propto \alpha_{K-M} \propto \frac{(h\nu - E_g)^{1/n}}{h\nu} \quad (2)$$

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

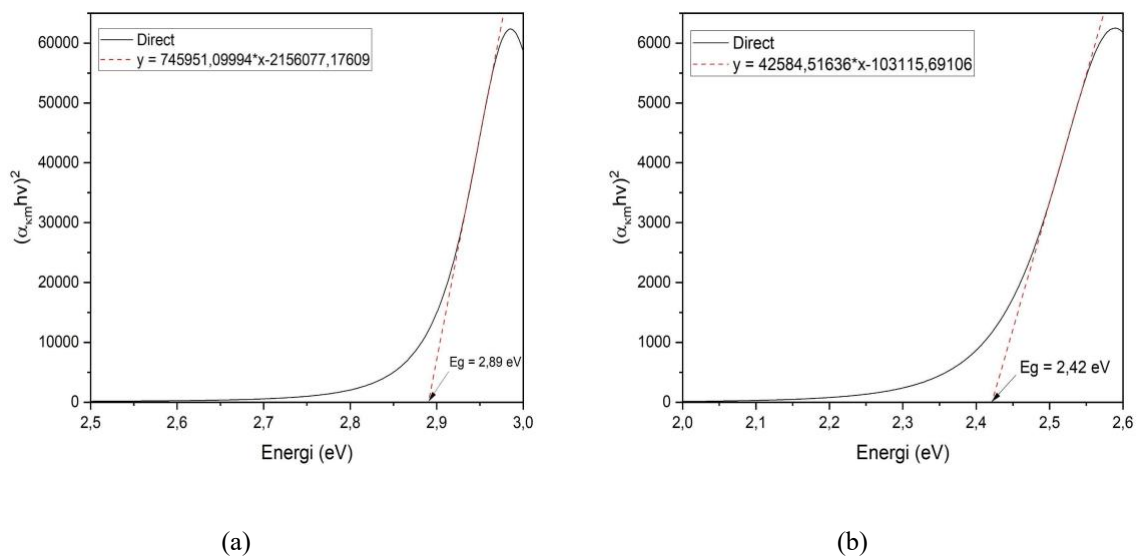
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis reflektansi dilakukan dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis Ocean Optics USB4000. Pada gambar 1(a) dan 1(b) menunjukkan grafik hubungan reflektansi dengan panjang gelombang pada substrat yang berbeda. Pada gambar 1(a) untuk substrat ITO terdapat dua puncak utama di panjang gelombang sekitar 320 nm dan 510 nm, dengan nilai reflektansi tertinggi sekitar 0,18 a.u. Setelah puncak kedua, reflektansi menurun drastis hingga mendekati nol pada rentang 750-800 nm, yang menandakan bahwa substrat ITO memiliki sifat transparan yang biasa digunakan dalam bentuk lapisan tipis [5]. Kedua puncak pada grafik menunjukkan bahwa ITO menyerap sebagian besar cahaya UV, sedangkan bagian kurva yang menurun menunjukkan bahwa ITO cukup transparan di wilayah panjang gelombang tersebut. Gambar 1(b) menunjukkan puncak reflektansi terjadi sekitar 330-340 nm dengan nilai reflektansi 0,5 a.u. Setelah puncak tersebut, reflektansi mengalami penurunan lalu meningkat secara perlahan pada panjang gelombang 600 nm. Hal ini menunjukkan bahwa substrat Si memiliki sifat reflektif dan tidak transparan terhadap cahaya tampak, yang menyebabkan terjadinya peningkatan pantulan cahaya pada film tipis BST. Berdasarkan persamaan (1), (2), (3), data reflektansi pada gambar 1(a) dan 1(b) di atas menjadi bahan untuk menentukan energi gap dari masing-masing sampel dengan pendekatan teori Kubelka-Munk [21, 22, 23].



GAMBAR 1. Reflektansi lapisan tipis BST pada (a) substrat ITO dan (b) substrat Si (100) Tipe-P.

Berdasarkan persamaan (1), (2), (3), diperoleh kurva hasil perhitungan energi gap film tipis BST yang ditunjukkan pada gambar 2(a) dan 2(b). Kurva dari energi gap untuk substrat ITO ditunjukkan pada gambar 2(a) dan substrat Si (100) tipe-p ditunjukkan pada gambar 2(b). Dari kurva hasil perhitungan film tipis $\text{Ba}_{0,625}\text{Sr}_{0,375}\text{TiO}_3$ substrat ITO menghasilkan nilai energi gap sebesar 2.89 eV. Sebaliknya untuk substrat Si (100) tipe-p menghasilkan nilai energi gap yang lebih rendah, yaitu sebesar 2.42 eV. Hasil ini konsisten dengan literatur bahwa energi gap untuk bahan semikonduktor berada dalam kisaran 2,4-4 eV [24]. Semakin kecil nilai energi gap, menyebabkan elektron bergerak lebih cepat dari pita valensi ke pita konduksi, sehingga konduktivitas listrik pada film tipis meningkat, dan pada keadaan ini film tipis digunakan sebagai bahan semikonduktor [14]. Selain itu, jika energi gap pada film tipis semakin kecil dapat memengaruhi kemampuan film tipis dalam proses fotokatalitik[25].



GAMBAR 2. Celah energi lapisan tipis BST pada (a) substrat ITO dan (b) substrat Si (100) Tipe-P.

PENUTUP

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa film tipis $\text{Ba}_{0,625}\text{Sr}_{0,375}\text{TiO}_3$ telah berhasil ditumbuhkan dengan baik menggunakan metode *spin coating* pada substrat ITO dan Si (100) tipe-p pada temperatur *annealing* dengan suhu 550 C. Energi gap untuk film tipis $\text{Ba}_{0,625}\text{Sr}_{0,375}\text{TiO}_3$ dapat dihitung menggunakan metode Kubelka-Munk diperoleh nilai terbesar 2,89 eV pada substrat ITO dan 2,42 eV pada substrat Si (100) tipe-p. Seluruh hasil penelitian menunjukkan bahwa film tipis $\text{Ba}_{0,625}\text{Sr}_{0,375}\text{TiO}_3$ yang ditumbuhkan pada substrat ITO dan Si (100) tipe-p memiliki potensi sebagai sensor suhu.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didanai oleh Hibah Penelitian Terapan Kompetitif Nasional (PTKN), Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan Nasional, Kebudayaan, Riset dan Teknologi, Republik Indonesia di bawah kontrak: 001/E5/ PG.02.00.PL/2023.

REFERENSI

- [1] R. Dewi, Y. Hamzah, Y. Manik, F. Ziliwu, and N. I. Simbolon, "Properties of BaTiO₃ nanoparticles based on FTIR derived using Nephelium lappaceum L. leaf extract," vol. 4, no. 3, pp. 93–96, 2024, doi: 10.59190/stc.v4i3.268.
- [2] R. Siskandar, F. C. Dio, H. Alatas, and I. Irzaman, "Application of ba_{0.5}sr_{0.5}tio₃ (bst) film doped with ruo₂ (0%, 2%, 4% and 6%) on a rice-stalk cutting robot model based on a line follower with hc-05 bluetooth control," *Biointerface Res. Appl. Chem.*, vol. 12, no. 2, pp. 2138–2151, 2022, doi: 10.33263/BRIAC122.21382151.
- [3] Irzaman, R. Siskandar, Aminullah, Irmansyah, and H. Alatas, "Characterization of Ba_{0.55}Sr_{0.45}TiO₃ films as light and temperature sensors and its implementation on automatic drying system model," *Integr. Ferroelectr.*, vol. 168, no. 1, pp. 130–150, 2016, doi: 10.1080/10584587.2016.1159537.
- [4] B. S. T. Dengan, S. Silikon, T. D. A. N. Indium, P. T. Elektro, and F. Teknik, "Perancangan Sensor Cahaya Menggunakan Film," pp. 47–56.
- [5] U. Anindy, M. Nur Indro, and I. Husein, "Piezoelectric properties: cerium oxide (CeO₂) doped barium titanate (BaTiO₃) film on ITO substrate," *Ferroelectrics*, vol. 570, no. 1, pp. 162–175, 2021, doi: 10.1080/00150193.2020.1839267.
- [6] J. Iskandar, R. P. Jenie, U. J. Siregar, B. Yuliarto, and Irzaman, "Application of thin film barium strontium titanate (BST) in a microcontroller based tool to measure oxygen saturation in blood," *Ferroelectrics*, vol. 554, no. 1, pp. 134–143, 2020, doi: 10.1080/00150193.2019.1684755.
- [7] Irzaman *et al.*, "Design and fabrication of photovoltaics based on MFS (Ag/BaTiO₃/silicon p-type) structure," *Mater. Sci. Energy Technol.*, vol. 7, no. June 2023, pp. 29–34, 2024, doi: 10.1016/j.mset.2023.06.002.
- [8] Irzaman *et al.*, "The Influence of Cuprum (II) Acetate (Cu(CH₃COO)₂) Dopant and Heating Temperature in the Fabrication of Thin Films of Barium Strontium Titanate (Ba_{0.4}Sr_{0.6}TiO₃)," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2866, no. 1, pp. 0–10, 2024, doi: 10.1088/1742-6596/2866/1/012021.
- [9] R. W. Schwartz, "Chemical Solution Deposition of Perovskite Thin Films," *Chem. Mater.*, vol. 9, no. 11, pp. 2325–2340, 1997, doi: 10.1021/cm970286f.
- [10] Irzaman *et al.*, "Formation of solar cells based on Ba_{0.5} Sr_{0.5} TiO₃ (BST) ferroelectric thick film," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1586, pp. 24–34, 2014, doi: 10.1063/1.4866724.
- [11] M. D. Tyona, "A comprehensive study of spin coating as a thin film deposition technique and spin coating equipment," *Adv. Mater. Res.*, vol. 2, no. 4, pp. 181–193, 2013, doi: 10.12989/amr.2013.2.4.181.
- [12] V. Efelina, "Preparasi Dan Penentuan Energi Gap Film Tipis TiO₂:Cu Yang Ditumbuhkan Menggunakan Spin Coating," *J. Pendidik. Fis. dan Keilmuan*, vol. 3, no. 1, p. 19, 2017, doi: 10.25273/jpjk.v3i1.941.
- [13] Y. Iriani, F. Nurosyid, R. Mayasari, and D. K. Sandi, "ANNEALING TEMPERATURES' EFFECTS ON MICROSTRUCTURE AND OPTICAL PROPERTIES OF Ba_{0.95}Sr_{0.05}TiO₃ FILMS," *J. Sains Mater. Indones.*, vol. 23, no. 1, p. 31, 2021, doi: 10.17146/jsmi.2021.23.1.6338.
- [14] A. Doyan, Susilawati, S. Hakim, L. Mulyadi, and M. Taufik, "The effect of annealing temperature thin films indium doped SnO₂ to optics properties and material composition," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1572, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1572/1/012072.
- [15] A. Munanda, A. Ibrahim, and A. S. Ismy, "Efek Suhu Annealing Terhadap Kekerasan Dan Ketangguhan Impak Pada Kuningan C38500," *J. Mesin Sains Terap.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–5, 2022, [Online]. Available: <https://e-jurnal.pnl.ac.id/mesinsainsterapan/article/view/2849>.
- [16] Y. Iriani, V. I. Variansi, M. Hikam, B. Soegijono, and M. Yuliani, "Pengaruh Holding Time Proses Annealing Terhadap Struktur Mikro dan Morfologi Lapisan Tipis Barium Zirconium Titanate," *J. Sains Mater. Indones.*, vol. 15, no. 3, pp. 138–141, 2014, [Online]. Available: <http://jusami.batan.go.id>.
- [17] Y. I., "Optimization of Rotational Speed in the Growing of the Thin Film Using Sol Gel Method which is Prepared with Spin Coating," *J. Mater. Sci. Eng.*, vol. 01, no. 03, pp. 1–3, 2012, doi: 10.4172/2169-0022.1000113.
- [18] E. Cuce, P. M. Cuce, and T. Bali, "An experimental analysis of illumination intensity and temperature dependency of photovoltaic cell parameters," *Appl. Energy*, vol. 111, pp. 374–382, 2013, doi: 10.1016/j.apenergy.2013.05.025.
- [19] Irzaman, A. Nuraisah, Aminullah, K. A. Hamam, and H. Alatas, "Optical properties and crystal structure of lithium doped Ba_{0.55} Sr_{0.45} TiO₃ (BLST) thin films," *Ferroelectr. Lett. Sect.*, vol. 45, no. 1–3, pp. 14–21, 2018, doi: 10.1080/07315171.2018.1499361.
- [20] D. Q. G. Ds, D. Rq, Q. Gmrkdq, and X. Df, "RQ / D \ HU RI / L7D2 ZLWK 9DULDWLRQ 7UHDWPHQW RI," vol. 7.
- [21] N. Djohan, B. Harsono, J. Liman, H. Hardhienata, and Irzaman, "Structural , Optical Properties and Raman Spectroscopy of," *Int. J. Nanoelectron. Mater.*, vol. 15, no. 1, pp. 17–26, 2022.
- [22] Jumardin, A. Maddu, K. Santoso, and Isnaeni, "Karakteristik Sifat Optik Nanopartikel Karbon (Carbon Dots) Dengan Metode Uv-Vis Drs (Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy)," *JFT J. Fis. dan Ter.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–15, 2022, doi: 10.24252/jft.v9i1.28815.
- [23] M. Zuhri and H. F. Ramadhan, "Synthesis and Characterization of SrTiO₃ Doped with Bi (CH₃COO)₃," vol. 16, no. December, pp. 169–182, 2023.

- [24] I. Irzaman *et al.*, "Surface Roughness and Grain Size Characterization of Annealing Temperature Effect For Growth Gallium and Tantalum Doped Ba_{0.5} Sr_{0.5}TiO₃ Thin Film," *Atom Indones.*, vol. 35, no. 1, 2011, doi: 10.17146/aij.2009.48.
- [25] A. Doyan, Susilawati, S. Hakim, L. Mulyadi, M. Taufik, and Nazarudin, "The Effect of Indium Doped SnO₂ Thin Films on Optical Properties Prepared by Sol-Gel Spin Coating Technique," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1397, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1397/1/012005.