

DOI: doi.org/10.21009/03.1401.FA09

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

Muhammad Izatul Al Fajar ^{a)}, Novia Fransiska Simbolon ^{b)}, Dea Widiawati ^{c)},
Renny Apriani Dwika Saputri ^{d)}, Habibah Assa'addah ^{e)}, dan Irzaman ^{f)}

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

E-mail: ^{a)}m_izatul@apps.ipb.ac.id ^{b)}noviafransiskasimbolon@apps.ipb.ac.id ^{c)}deawidiawatidea@apps.ipb.ac.id
^{d)}radsrenny@apps.ipb.ac.id ^{e)}assa2003assaaddah@apps.ipb.ac.id ^{f)}irzaman@apps.ipb.ac.id

Abstrak.

Film tipis $Ba_{0,375}Sr_{0,625}TiO_3$ berhasil difabrikasi pada substrat kaca *Indium Tin Oxide (ITO)* dan substrat Silikon(100) tipe-P menggunakan metode *Chemical Solution Deposition (CSD)* dengan larutan prekursor berkonsentrasi 0,5 M. Proses pelapisan dilakukan melalui teknik *spin coating* pada kecepatan 3000 rpm, diikuti dengan proses *annealing* pada suhu 550 °C dengan laju pemanasan 100 °C per jam selama 16 jam, kemudian didinginkan secara bertahap hingga suhu kamar. Substrat kaca ITO yang digunakan memiliki ketebalan 1,1 mm dan resistivitas sekitar 20 ohm per kuadrat, sedangkan substrat Si(100) tipe-P memiliki resistivitas sekitar 10 ohm per kuadrat. Sifat optik film tipis dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada rentang panjang gelombang 230 hingga 850 nm. Hasil pengukuran menunjukkan nilai celah pita energi sebesar 1,57 eV pada substrat ITO dan 2,51 eV pada substrat Si(100) tipe-P. Analisis celah pita dari film tipis $Ba_{0,375}Sr_{0,625}TiO_3$ pada kedua jenis substrat ini penting dilakukan karena material tersebut berpotensi sebagai kandidat utama untuk aplikasi sensor tekanan di masa mendatang.

Kata kunci: BST, Indium Tin Oxide (ITO), sensor tekanan, CSD, spin coating, substrat Si(100) Tipe-P

Abstract

The thin film $Ba_{0,375}Sr_{0,625}TiO_3$ was successfully fabricated on Indium Tin Oxide (ITO) glass substrate and Si(100) P-type substrate using the Chemical Solution Deposition (CSD) method with a precursor solution concentration of 0.5 M. The coating process was performed via spin coating at a speed of 3000 rpm, followed by an annealing process at 550 °C with a heating rate of 100 °C per hour for 16 hours, then gradually cooled to room temperature. The ITO glass substrate used has a thickness of 1.1 mm and a sheet resistance of approximately 20 ohms per square, whereas the Si(100) P-type substrate has a sheet resistance of around 10 ohms per square. The optical properties of the thin film were characterized using UV-Vis spectrophotometry in the wavelength range of 230 to 850 nm. Measurement results indicate a bandgap energy value of 1.57 eV on the ITO substrate and 2.51 eV on the Si(100) P-type substrate. Bandgap analysis of the $Ba_{0,375}Sr_{0,625}TiO_3$ thin film on these two types of substrates is crucial, as this material shows great potential as a primary candidate for future pressure sensor applications.

Key words: BST, Indium Tin Oxide (ITO), pressure sensor, CSD, spin coating, Si(100) Tipe-P

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi material telah membawa perubahan signifikan dalam berbagai bidang, termasuk elektronik, optoelektronik, dan sensor [1, 2]. Salah satu pendekatan yang semakin mendapat perhatian dalam teknologi film tipis adalah penggunaan $\text{Ba}_{0,375}\text{Sr}_{0,625}\text{TiO}_3$ (BST) sebagai material fungsional dalam aplikasi sensor tekanan [3, 4]. Material berbasis perovskit ini dikenal memiliki sifat listrik dan optik yang unggul [5, 6], menjadikannya kandidat utama untuk berbagai keperluan teknologi canggih. Penggunaan substrat kaca ITO dan Si(100) tipe-P dalam fabrikasi film tipis ini memungkinkan eksplorasi karakteristik optoelektronik yang lebih luas [7], terutama dalam integrasi sistem sensor dan teknologi berbasis nanomaterial.

Pembuatan material BST dapat dilakukan dengan memanfaatkan peralatan yang relatif sederhana, biaya yang terjangkau, serta waktu proses yang efisien. Terdapat berbagai metode yang umum digunakan dalam proses pelapisan film tipis, antara lain *Metalorganic Chemical Vapor Deposition* (MOCVD), *Chemical Vapor Deposition*, *Sol-Gel*, *Atomic Layer Deposition* (ALD), *Pulsed Laser Ablation Deposition* (PLAD), *rf sputtering*, dan *Chemical Solution Deposition* (CSD). Pada penelitian ini, metode yang dipilih adalah CSD karena dianggap paling sesuai dengan kebutuhan studi ini, baik dari segi kemudahan pelaksanaan, efisiensi biaya dan waktu, serta kemampuannya dalam menghasilkan lapisan yang seragam dengan kontrol parameter yang baik [8, 9, 10]. Metode ini memungkinkan formulasi larutan prekursor dengan konsentrasi yang dapat disesuaikan sehingga menghasilkan struktur film berkualitas tinggi [11]. *Spin coating*, sebagai bagian dari proses deposisi, digunakan untuk memastikan distribusi film yang merata pada permukaan substrat [12, 13], sementara *annealing* suhu tinggi berperan dalam meningkatkan kristalinitas dan stabilitas struktural film yang dihasilkan [14].

Sifat optik film tipis BST yang difabrikasi pada substrat ITO dan Si(100) tipe-P dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis, yang memungkinkan analisis celah pita energi serta interaksi cahaya dengan material. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa BST memiliki celah pita energi sebesar 1,57 eV pada substrat ITO dan 2,51 eV pada substrat Si(100) tipe-P, yang menandakan variasi sifat optik berdasarkan jenis substrat yang digunakan. Nilai celah pita ini mempengaruhi sifat optik dan elektronik material, yang dapat berkontribusi pada performa sensor tekanan dan sistem elektronik berbasis nanoteknologi. Namun, dalam aplikasi piezoelektrik, parameter seperti konstanta piezoelektrik dan sensitivitas lebih dominan dalam menentukan kinerja sensor [1].

Pemilihan substrat dengan karakteristik resistivitas yang berbeda turut memberikan dampak terhadap sifat kelistrikan dan optik dari film tipis yang dihasilkan. Substrat kaca ITO dikenal memiliki transparansi tinggi dan konduktivitas listrik yang cukup baik, menjadikannya ideal untuk aplikasi optoelektronik. Sementara itu, substrat Si(100) tipe-P memiliki karakteristik semikonduktor yang stabil sehingga banyak digunakan dalam perangkat berbasis mikroelektronika [15]. Analisis lebih lanjut terhadap interaksi antara film tipis BST dengan kedua jenis substrat ini diperlukan guna memahami potensi optimalisasi karakteristik material dalam pengembangan sel surya, sensor cahaya, dan sensor tekanan [8, 16, 17, 18].

Pada penelitian ini, dilakukan fabrikasi film tipis $\text{Ba}_{0,375}\text{Sr}_{0,625}\text{TiO}_3$ menggunakan CSD dengan larutan prekursor berkonsentrasi 0,5 M, diikuti dengan *spin coating* pada kecepatan 3000 rpm [14], serta *annealing* pada suhu 550 °C dengan laju pemanasan 100 °C per jam selama 16 jam. Setelah fabrikasi, analisis sifat optik dilakukan untuk mengevaluasi nilai celah pita energi, yang berperan dalam menilai kelayakan material ini sebagai kandidat utama untuk aplikasi sensor tekanan di masa mendatang [19]. Sifat piezoelektrik yang kuat dari material BST juga mendukung potensinya dalam aplikasi sensor tekanan [20].

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang bertujuan membentuk lapisan tipis $Ba_{0,375}Sr_{0,625}TiO_3$ serta menganalisis hasil pelapisan melalui karakterisasi celah pita energi. Fokus utama dari metode ini adalah mengamati morfologi dan komposisi lapisan film tipis yang terbentuk pada dua jenis substrat, yaitu kaca ITO dan silikon tipe-P dengan orientasi kristal (100). Pendekatan ini diharapkan memperoleh pemahaman yang lebih baik mengenai sifat optik dan struktur material yang dihasilkan.

Substrat yang digunakan meliputi kaca ITO berukuran 2 cm x 2 cm dan Si(100) tipe-P berukuran 1 cm x 1 cm. Masing-masing substrat dipersiapkan satu buah untuk setiap variasi sebagai satu kali pengulangan. Proses pembersihan dilakukan menggunakan *aquabides* dan air deionisasi dalam *ultrasonic cleaner* selama 10 menit untuk ITO dan 25 menit untuk Si(100) tipe-P. Setelah proses pembersihan, substrat dikeringkan menggunakan *hand blower* hingga benar-benar kering.

Larutan elektrolit disusun dari beberapa bahan kimia, antara lain Barium Asetat [$Ba(CH_3COO)_2$], Stronsium Asetat [$Sr(CH_3COO)_2$], Titanium(IV) Isopropoksida [$Ti(C_{12}H_{28}O_4)$], pelarut 2-metoksiethanol, *aquabides*, dan air deionisasi. Bubuk barium dan stronsium diasah terlebih dahulu hingga halus, lalu dimasukkan ke dalam botol kecil sebelum ditambahkan pelarut. Proses pencampuran dilakukan menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 90 °C dengan kecepatan 500 rpm selama satu jam. Setelah itu, Titanium(IV) Isopropoksida ditambahkan ke dalam larutan dan diaduk kembali selama satu jam. Campuran larutan kemudian disaring menggunakan suntik yang dilengkapi dengan filter PVDF (0,45 μm) untuk memperoleh larutan yang homogen dan bebas partikel besar.

Pelapisan film dilakukan melalui teknik CSD menggunakan metode *spin coating*. Substrat ditempelkan pada piringan reaktor *spin coating* dengan *double tape* agar tidak bergeser saat pemutaran. Sebagian permukaan substrat ditutup menggunakan solatip, sedangkan bagian lainnya ditetesi larutan elektrolit yang telah disiapkan. Proses pemutaran dilakukan selama 60 detik dengan kecepatan 3000 rpm dan diulang sebanyak dua kali dengan interval satu menit untuk memastikan ketebalan lapisan yang merata. Setelah pelapisan selesai, substrat dikeringkan untuk persiapan tahap selanjutnya [11].

Tahap berikutnya adalah proses *annealing*, yaitu pemanasan bertahap hingga suhu tertentu dan pendinginan perlahan untuk meningkatkan kualitas struktur film [13]. Tujuan *annealing* adalah mengurangi kekerasan material dan memperbaiki sifat fisis serta mikrostruktur material [12]. Proses ini dapat meningkatkan kepadatan, keteraturan, dan homogenitas butiran film, yang pada akhirnya menghasilkan kualitas film yang lebih tinggi [14]. Reorganisasi atom yang terjadi selama *annealing* juga memperbaiki konduktivitas dan karakteristik optik film tipis secara keseluruhan [12]. Pada tahap ini sampel akan melalui proses *annealing* pada furnace dengan suhu maksimal 550 °C selama 16 jam.

Setelah proses *annealing* selesai, sampel akan masuk ke tahap akhir yaitu uji dan karakterisasi film. Karakterisasi optik dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis (*Ocean Optics DH-2000-BAL*) pada rentang panjang gelombang 230–800 nm [16]. Alat ini digunakan untuk mengukur transmittansi atau reflektansi material terhadap cahaya. Data yang didapatkan nantinya akan diolah menggunakan *software* Origin melalui metode Tauc Plot dan pendekatan teori Kubelka-Munk, yaitu metode penentuan celah energi dari masing-masing sampel dengan melihat grafik linear hubungan Energi (eV) pada sumbu y dan $(\alpha_{K-M} h\nu)^2$ ($\alpha_{K-M} h\nu$)² untuk mencari nilai celah energi dari masing-masing sampel dengan persamaan (1), (2), (3) [21, 22, 23]:

$$F(R) = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad F(R) = \frac{(1-R)^2}{2R} \tag{1}$$

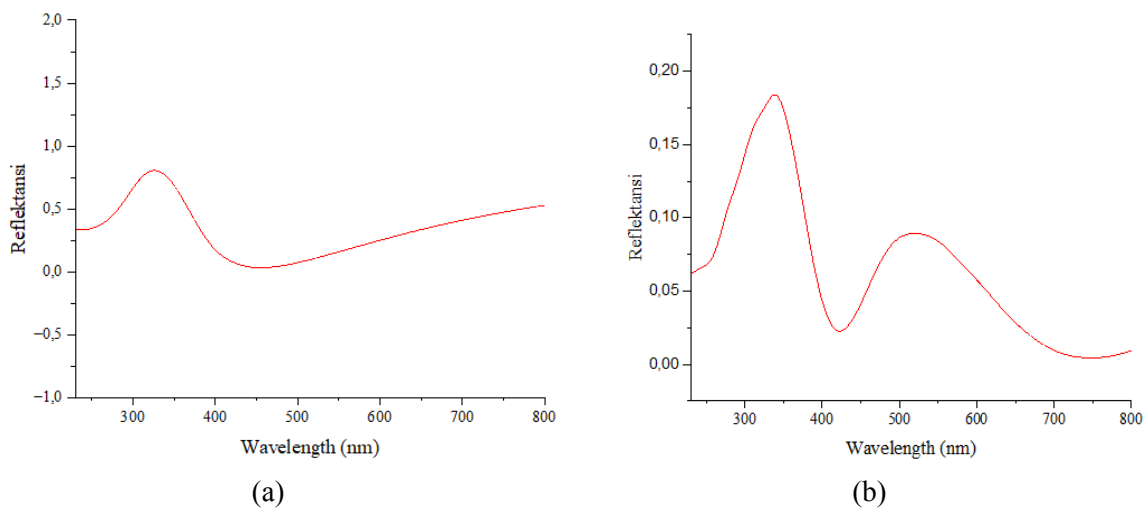
$$F(R) \propto \alpha_{K-M} \alpha \frac{(h\nu - E_g)^{\frac{1}{n}}}{h\nu} \quad F(R) \propto \alpha_{K-M} \alpha \frac{(h\nu - E_g)^{\frac{1}{n}}}{h\nu} \tag{2}$$

$$(\propto hv)^n = A(hv - E_g) \quad (\propto hv)^n = A(hv - E_g) \quad (3)$$

Hasil yang diperoleh memberikan gambaran menyeluruh tentang kemampuan absorpsi dan kualitas optik film tipis BST. Pengukuran dilakukan dalam rentang panjang gelombang 230–800 nm. Data yang dihasilkan mencakup panjang gelombang, reflektansi, serta pola osilasi yang berhubungan dengan morfologi permukaan film. Melalui analisis ini, dapat ditentukan nilai energi celah pita yang mencerminkan performa dan potensi aplikasi material dalam bidang semikonduktor atau sensor optik.

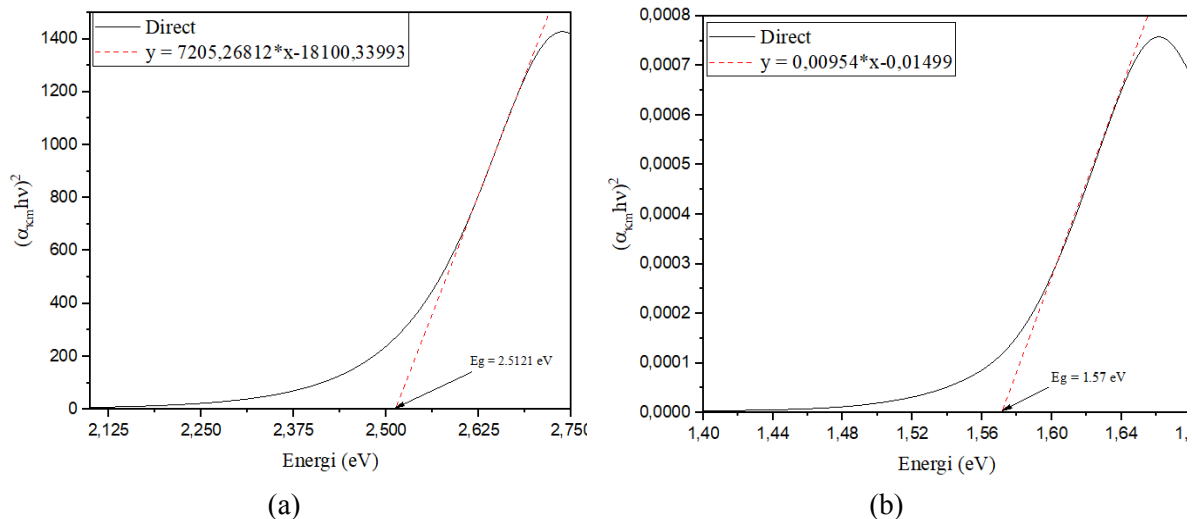
HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat optik dari film tipis BST dianalisis melalui karakterisasi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Pengukuran dilakukan pada rentang panjang gelombang antara 250 nm hingga 650 nm, dengan menghasilkan grafik reflektansi terhadap panjang gelombang (nm) seperti yang ditampilkan pada GAMBAR 1(a) dan GAMBAR 1(b). Data reflektansi yang diperoleh selanjutnya diolah menggunakan metode Kubelka-Munk untuk menentukan nilai energi celah pita (*band gap*) [21, 22].



GAMBAR 1. Reflektansi terhadap panjang gelombang (a) Substat Si(100) tipe-P, (b) Substrat ITO

Berdasarkan Gambar 1(a) menunjukkan nilai reflektansi maksimum pada panjang gelombang 338 nm, sedangkan reflektansi minimum pada panjang gelombang 748,57 nm. Gambar 1(b) menunjukkan nilai reflektansi maksimum pada 326 nm, sedangkan reflektansi minimum pada 455 nm. Hal ini menunjukkan bahwa kedua film tipis berada pada rentang panjang gelombang ultraviolet (180-380 nm) dan cahaya tampak (380-780 nm) [24]. Akan tetapi, substrat ITO memiliki kemampuan lebih besar dalam menyerap cahaya tampak karena tingkat reflektansinya lebih rendah dibandingkan dengan substrat Si (100) Tipe-P [25]. Pada proses pelapisan, ketebalan film tipis memengaruhi nilai reflektansi, yaitu semakin tebal lapisan film, maka nilai reflektansi akan meningkat [14]. Berdasarkan persamaan (1), (2), dan (3), data reflektansi yang ditampilkan pada gambar 1(a) dan 1(b) digunakan sebagai dasar untuk menentukan celah energi langsung dari masing-masing sampel dengan pendekatan teori Kubelka-Munk [21, 22, 23]



GAMBAR 2. Analisis celah energi lapisan BST (a) Substrat Si(100) tipe-P, (b) Substrat ITO

Perhitungan energi *band gap* dilakukan dengan metode Kubelka-Munk [21] melalui ekstrapolasi linier grafik fungsi Kubelka-Munk terhadap energi foton, sebagaimana diperlihatkan pada grafik terkait. Berdasarkan persamaan (1), (2), (3) diperoleh hasil ekstrapolasi memberikan nilai energi *band gap* dari masing-masing sampel film tipis yang dirangkum dalam Gambar dan Tabel 1.

TABEL 1. Energi Band Gap Film Tipis BST pada Si(100) tipe-P dan Substrat ITO

Substrat	Energi band gap (eV)
Si(100) tipe-P	2,51
ITO	1,57

Berdasarkan GAMBAR 2 dan Tabel 1, grafik T_{auc} yang diperoleh dari hasil karakterisasi menunjukkan bahwa film tipis BST yang dideposisikan pada substrat ITO memiliki nilai energi celah pita sebesar 1,57 eV, sedangkan pada substrat Si(100) tipe-P sebesar 2,51 eV. Perbedaan ini mencerminkan pengaruh signifikan dari jenis substrat terhadap sifat optik material. Nilai energi celah pita pada substrat ITO yang lebih rendah dapat diatribusikan pada peningkatan konsentrasi pembawa muatan akibat efek Burstein–Moss, yang umum terjadi pada film tipis ITO setelah perlakuan annealing pada suhu tinggi. Efek ini menyebabkan pergeseran tepi serapan ke arah panjang gelombang yang lebih pendek, sehingga meningkatkan nilai energi celah pita optik [26]. Sebaliknya, nilai energi celah pita yang lebih tinggi pada substrat Si(100) tipe-P mungkin disebabkan oleh tegangan antarmuka antara film dan substrat, serta perbedaan dalam struktur kristal dan morfologi permukaan [7]. Tegangan ini dapat mempengaruhi struktur elektronik material, sehingga meningkatkan nilai energi celah pita.

Selain itu, kondisi proses annealing yang digunakan, yaitu suhu 550 °C selama 16 jam, dapat mempengaruhi kualitas film yang dihasilkan. Pada substrat ITO, perlakuan ini mungkin menyebabkan deformasi atau melengkungnya substrat, yang pada gilirannya mempengaruhi struktur dan sifat optik film BST. Hal ini menunjukkan pentingnya optimasi parameter proses untuk setiap jenis substrat guna memperoleh film dengan kualitas dan sifat optik yang diinginkan.

Perubahan energi *band gap* ini berimplikasi pada konduktivitas, resistivitas, dan sifat optik material [5]. Sifat-sifat tersebut sangat penting untuk pengembangan perangkat fungsional dalam dunia teknologi. Berdasarkan beberapa studi, termasuk yang dilakukan oleh Xua *et al.* (2017) [27] atau studi lain yang lebih baru, material memiliki sensitivitas tinggi terhadap deformasi mekanik dan sifat piezoelektrik yang kuat, menjadikannya kandidat potensial untuk digunakan dalam sensor

tekanan. Oleh karena itu, pemanfaatan film tipis BST dalam sensor tekanan merupakan salah satu aplikasi yang menjanjikan, terutama dalam pengembangan teknologi berbasis material pintar dan responsif.

SIMPULAN

Analisis celah energi pada lapisan tipis $\text{Ba}_{0,375}\text{Sr}_{0,625}\text{TiO}_3$ yang disintesis menggunakan metode CSD melalui teknik *spin coating* telah berhasil dilakukan pada dua jenis substrat, yaitu kaca ITO dan Si(100) tipe-P. Karakterisasi optik menggunakan spektrofotometer UV-Vis menunjukkan bahwa nilai celah energi yang diperoleh pada substrat kaca ITO adalah sebesar 1,57 eV, sedangkan pada substrat silikon (100) tipe-P sebesar 2,51 eV. Perbedaan nilai celah energi tersebut mencerminkan variasi sensitivitas dan respons material terhadap perubahan energi akibat tekanan mekanik. Substrat kaca ITO yang memiliki celah energi lebih rendah berpotensi menghasilkan respons piezoelektrik yang lebih cepat terhadap tekanan rendah, sementara substrat silikon (100) tipe-P dengan celah energi lebih tinggi cocok untuk aplikasi yang membutuhkan stabilitas pada tekanan tinggi. Dengan demikian, pemilihan jenis substrat memengaruhi karakteristik material dalam merespons tekanan, sehingga menjadi faktor penting dalam desain dan optimalisasi sensor tekanan berbasis material BST [19, 28].

UCAPAN TERIMA KASIH

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

REFERENSI

- [1] L. Wang, M. Zhu, Y. Shao, Y. Zhao, C. Wei, L. Gao, and Y. Bao, "Smart Sensing Multifunctionalities Based on Barium Strontium Titanate Thin Films," *Sensors*, vol. 22, no. 19, p. 7183, 2022.
- [2] M. S. Afanasiev, D. A. Kiselev, A. A. Sivov, and G. V. Chucheva, "Synthesis and Piezoelectric Properties of Freestanding Ferroelectric Films Based on Barium Strontium Titanate," *Mod. Electron. Mater.*, vol. 9, no. 4, pp. 163-168, 2023.
- [3] J. Liu, Y. Wang, X. Zhai, Y. Xue, L. Hao, H. Zhu, C. Liu, H. Cheng, and J. Ouyang, "Energy Storage Properties of Sol-Gel-Processed SrTiO₃ Films," *Materials*, vol. 16, no. 1, p. 31, 2023.
- [4] A. Boubaia, A. Assali, S. Berrah, H. Bennacer, I. Zerifi, and A. Boukortt, "Band Gap and Emission Wavelength Tuning of Sr-Doped BaTiO₃ (BST) Perovskites for High-Efficiency Visible-Light Emitters and Solar Cells," *Mater. Sci. Semicond. Process.*, vol. 130, p. 105837, 2021.
- [5] Irzaman, *et al.*, "The Effect of Photoconductive Mole Fraction Based on 0.500) on Electrical Properties and Diffusivity Coefficient," *Biointerface Res. Appl. Chem.*, vol. 11, no. 6, pp. 14956-14963, 2021.
- [6] M. G. Elmahgary, A. M. Mahran, M. Ganoub, and S. O. Abdellatif, "Optical Investigation and Computational Modelling of BaTiO₃ for Optoelectronic Devices Applications," *Sci. Rep.*, vol. 13, no. 1, pp. 1-13, 2023.
- [7] C. Mansour, M. Benwadih, G. A. Chahine, and C. Revenant, "Effect of Thermal Annealing on the Morphology of Sol-Gel Processed Barium Strontium Titanate Thin Films:

- Consequences on Electrical Properties," *AIP Adv.*, vol. 10, no. 6, p. 065113, 2020.
- [8] Irzaman, *et al.*, "Ferroelectric sensor BaxSr1-xTiO3 integrated with android smartphone for controlling and monitoring smart street lighting," *J. King Saud Univ. - Sci.*, vol. 34, no. 6, p. 102180, 2022.
- [9] Irzaman, *et al.*, "Design and fabrication of photovoltaics based on MFS (Ag/BaTiO3/silicon p-type) structure," *Mater. Sci. Energy Technol.*, vol. 7, pp. 29-34, 2024.
- [10] A. Abramov, *et al.*, "Chemical Solution Deposition of BiFeO3 Films with Layer-by-Layer Control of the Coverage and Composition," *Coatings*, vol. 10, no. 5, p. 438, 2020.
- [11] B. I. Edmondson, S. Kwon, C. H. Lam, J. E. Ortmann, A. A. Demkov, M. J. Kim, and J. G. Ekerdt, "Epitaxial, Electro-Optically Active Barium Titanate Thin Films on Silicon by Chemical Solution Deposition," *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 103, no. 2, pp. 1209-1218, 2020.
- [12] H. Wang, C. Frontera, J. Herrero-Martín, A. Pomar, P. Roura, B. Martínez, and N. Mestres, "Aqueous Chemical Solution Deposition of Functional Double Perovskite Epitaxial Thin Films," *Chem. - A Eur. J.*, vol. 26, no. 42, pp. 9338-9347, 2020.
- [13] A. N. Nguyen, *et al.*, "Spin Coating and Micro-Patterning Optimization of Composite Thin Films Based on PVDF," *Materials*, vol. 13, no. 6, p. 1342, 2020.
- [14] 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 (Ba0.4Sr0.6TiO3)," *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 2866, no. 1, p. 012021, 2024.
- [15] A. Lebbad, L. Kerkache, A. Layadi, F. Leroy, B. Alshehri, and E. Dogheche, "Surface Morphology, Structural and Electrical Properties of RF-Sputtered ITO Thin Films on Si Substrates," *Bull. Mater. Sci.*, vol. 41, no. 3, 2018.
- [16] J. Kim, S. Shrestha, M. Souri, J. G. Connell, S. Park, and A. Seo, "High-temperature optical properties of indium tin oxide thin-films," *Sci. Rep.*, vol. 10, no. 1, pp. 1-9, 2020.
- [17] O. Yavas and M. Takai, "Effect of substrate absorption on the efficiency of laser patterning of indium tin oxide thin films," *J. Appl. Phys.*, vol. 85, no. 8, pp. 4207-4212, 1999.
- [18] Irzaman, *et al.*, "Design and fabrication of photovoltaics based on MFS (Ag/BaTiO3/silicon p-type) structure," *Mater. Sci. Energy Technol.*, vol. 7, pp. 29-34, 2024.
- [19] R. Nasui, R. B. Sonher, T. J. Petrisor, E. Cati, E. G. Turns, R. Pacuar, and M. S. Gabor, "Flexible BaTiO3 Thin Films with Piezoelectric Properties Using Chemical Synthesis Techniques," *SSRN Prepr.*, 2023.
- [20] S. Taleb, M. Badillo, F. J. Flores-Ruiz, and M. Acuautla, "From Synthesis to Application: High-Quality Flexible Piezoelectric Sensors Fabricated from Tetragonal BaTiO3/P(VDF-TrFE) Composites," *Sens. Actuators A Phys.*, vol. 361, p. 114585, 2023.
- [21] N. Djohan, B. Harsono, J. Liman, H. Hardhienata, and Irzaman, "Structural, optical properties and raman spectroscopy of In2O3 doped LiTaO3 thin films," *Int. J. Nanoelectron. Mater.*, vol. 15, no. 1, pp. 17-26, 2022.
- [22] D. Warono and Syamsudin, "Unjuk kerja spektrofotometer untuk analisa zat aktif ketoprofen," *Konversi*, vol. 2, no. 2, pp. 57-65, 2013.
- [23] M. Zuhri and H. F. Ramadhan, "Synthesis and Characterization of SrTiO3 Doped with Bi(CH3COO)3," *Int. J. Nanoelectron. Mater.*, vol. 16, pp. 169-182, Dec. 2023.
- [24] J. Iskandar, H. Syafutra, J. Juansah, and Irzaman, "Characterizations of electrical and optical properties on ferroelectric photodiode of barium strontium titanate (Ba0.5Sr0.5TiO3) films based on the annealing time differences and its development as light sensor on satellite technology," *Procedia Environ. Sci.*, vol. 24, pp. 324-328, 2015.
- [25] M. Patel, A. Chavda, I. Mukhopadhyay, J. Kim, and A. Ray, "Nanostructured SnS with inherent anisotropic optical properties for high photoactivity," *Nanoscale*, vol. 8, no. 4, pp. 2293-2303, 2016.
- [26] S. C. Her and C. F. Chang, "Fabrication and Characterization of Indium Tin Oxide Films," *J. Appl. Biomater. Funct. Mater.*, vol. 15, no. 2, pp. e170-e175, 2017.
- [27] T. Xu, H. Wang, Y. Xia, Z. Zhao, M. Huang, J. Wang, L. Zhao, Y. Zhao, and Z. Jiang,

- "Piezoresistive Pressure Sensor with High Sensitivity for Medical Application Using Peninsula-Island Structure," *Front. Mech. Eng.*, vol. 12, no. 4, pp. 546-553, 2017.
- [28] 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.