

ANALISIS ENERGI GAP FILM TIPIS $\text{Ba}_{0,875}\text{Sr}_{0,125}\text{TiO}_3$ DI ATAS SUBSTRAT KACA INDIUM TIN OXIDE (ITO) DAN SUBSTRAT Si (100) TIPE-P

Ahmad Fakhrudin^{a)}, Sarmilah^{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)}fakhrudinahmad@apps.ipb.ac.id ^{b)}milalhh_sarmilah@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 $\text{Ba}_{0,875}\text{Sr}_{0,125}\text{TiO}_3$ 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, 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 2,06 eV di atas substrat ITO dan celah energi sebesar 2,4 eV di atas substrat Si (100) Tipe-P. Analisis celah energi film tipis $\text{Ba}_{0,875}\text{Sr}_{0,125}\text{TiO}_3$ 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 cahaya.

Kata-kata Kunci: BST, sensor cahaya, CSD, Indium Tin Oxide (ITO), substrat Si.

Abstract

Thin films of $\text{Ba}_{0,875}\text{Sr}_{0,125}\text{TiO}_3$ 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, resistivity ~20 ohm/sq and Si Type-P resistivity ~10 ohm/sq. These thin films were tested for optical properties using UV-Vis Spectrophotometer with a range of 230-850 nm and resulted in an energy gap of 2.06 eV over ITO substrate and an energy gap of 2.4 eV over Si (100) Type-P substrate. The energy gap analysis of $\text{Ba}_{0,875}\text{Sr}_{0,125}\text{TiO}_3$ thin films over Indium Tin Oxide (ITO) glass substrate and over Si (100) Type-P substrate is very important because these films are the forerunner of light sensors.

Key Words: BST, light sensor, CSD, Indium Tin Oxide (ITO), Si substrate.

PENDAHULUAN

Ferroelectric adalah gejala terjadinya perubahan polarisasi listrik secara spontan pada material tanpa gangguan medan listrik dari luar. Sifat-sifat bahan *ferroelectric* dapat digunakan sesuai kebutuhan serta mudah diintegrasikan dalam bentuk *device* sehubungan dengan sifat-sifat unik dimilikinya. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah Barium Stronsium Titanat (BST) [1-4].

Barium Stronsium Titanat (BST) merupakan bahan yang memiliki konstanta dielektrik yang tinggi, serta kapasitas penyimpanan muatan tinggi. Peneliti mulai melakukan analisis lapisan tipis BST diatas substrat silikon 100 tipe-p dan substrat ITO untuk melihat celah energi. Pembuatan BST dapat menggunakan peralatan yang cukup sederhana, biaya murah dan dilakukan dalam waktu yang relatif singkat. Dalam proses pembuatan lapisan, ada beberapa metode yang digunakan diantaranya metode *Metalorganic Chemical Vapor Deposition* (MOCVD), metode *Chemical Vapor Deposition*, metode *Sol-Gel*, metode *Atomic Layer Deposition* (ALD), metode *Pulsed Laser Ablation Deposition* (PLAD), rf sputtering, dan metode *Chemical Solution Deposition* (CSD). Pada penelitian ini, menggunakan metode *Chemical Solution Deposition* (CSD) [5,6].

Metode *Chemical Solution Deposition* (CSD) merupakan cara pembuatan lapisan tipis dengan mendeposisikan larutan kimia di atas substrat dan kemudian dipreparasi dengan menggunakan *spin coating* pada kecepatan tertentu. Kelebihan dari metode ini dapat mengontrol stoikiometri lapisan dengan kualitas baik, prosedur yang mudah dan membutuhkan biaya yang relatif murah. Tahapan metode ini meliputi sintesis larutan, proses deposisi, proses hidrolis, serta proses *annealing* [7,8].

METODOLOGI

Penelitian ini membuat film tipis Barium Strontium Titanat (BST) menggunakan metode *Chemical Solution Deposition* (CSD). Film tipis yang dibuat dengan menggunakan substrat kaca Indium Tin Oxide (ITO) dan Substrat Si (100) Tipe-P. Substrat Si (100) Tipe-P dipotong dengan menggunakan pisau mata intan dengan ukuran 1,1 cm x 1,1 cm dan Substrat kaca Indium Tin Oxide (ITO) dengan ukuran 2 cm x 2 cm. Setelah itu, substrat dicuci untuk menghilangkan kotoran pada permukaan substrat menggunakan aquades dengan menggunakan mesin pencuci masing-masing 2 menit sebanyak 5 kali. Substrat yang sudah dibersihkan kemudian dikeringkan hingga kering menggunakan tisu.

Pembuatan larutan dengan bahan-bahan kimia terdiri atas, Barium Asetat ($\text{Ba}(\text{CH}_3\text{COO})_2$), Stronsium Asetat ($\text{Sr}(\text{CH}_3\text{COO})_2$), Titanium (IV) Isopropoksida ($\text{Ti}(\text{C}_{12}\text{H}_{28}\text{O}_4)$), serta pelarut 2-metoksietanol ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2$). Bahan-bahan kimia ditimbang terlebih dahulu sesuai dengan perhitungan stoikiometri setelah ditimbang dimasukkan ke dalam botol berbeda untuk masing-masing pendadah dan diberi label penanda. Langkah pertama pembuatan prekursor yaitu menggerus bubuk $\text{Ba}(\text{CH}_3\text{OOH})_2$, $\text{Sr}(\text{CH}_3\text{OOH})_2$ dan menimbang bubuk tersebut sesuai dengan perhitungan stoikiometri. Bubuk yang telah selesai digerus dan ditimbang kemudian dimasukkan seluruhnya ke dalam botol kaca. Selanjutnya, ditambahkan pelarut 2-metoksietanol sebanyak 2 ml (10 tetes mikropipet dengan volume 200 μl /tetes). Kemudian, dilakukan *stirring* menggunakan *magnetic stirrer* selama 2 jam dengan kecepatan putar 500 rpm. Setelah di *stirring*, larutan disaring dan diambil

menggunakan suntik tanpa jarum yang telah dipasang filter PVDF, kemudian dipindahkan ke botol yang bersih.

Lapisan tipis BST dengan menggunakan metode *Chemical Solution Deposition* (CSD) di atas substrat, melalui *spin coating*. Substrat Indium Tin Oxide (ITO) dan Substrat Si (100) Tipe-P diletakkan pada piringan reaktor *spin coating* dengan menempelkan sedikit *double tape* agar substrat ITO tidak lepas saat diputar, setengah bagian substrat ditutup selotip dengan rapat dan bagian substrat yang tidak tertutup selotip ditetesi dengan larutan BST yang sudah dicampur secara rata, selanjutnya substrat diputar menggunakan *spin coating* selama 60 detik pada kecepatan 3000 rpm. Sampel yang sudah dilapisi (*coating*) langkah berikutnya adalah melakukan tahap *annealing*. Proses *annealing* dilakukan dengan menggunakan *furnace* yang bertujuan untuk mendifusikan larutan BST pada substrat secara fisika dengan pemberian perlakuan panas. Proses *annealing* pada suhu yang berbeda akan menghasilkan karakterisasi lapisan tipis BST yang berbeda dalam hal struktur kristal, ketebalan dan ukuran butir. *Annealing* substrat yang telah dilapisi BST dilakukan pada suhu 550 °C, selama 16 jam.

Alat yang digunakan dalam karakterisasi ini adalah spektrofotometer UV-Vis. Spektrofotometer yang digunakan untuk mendeteksi sifat reflektansi lapisan tipis BST [9]. Karakteristik Spektrofotometer UV-Vis berupa spektrum panjang gelombang terhadap reflektansi R (%), dengan mengubah besaran R (%) ke dalam faktor Kubelka-Munk $F(R)$ akan menghasilkan celah energi dengan menggunakan metode sederhana berdasarkan teori Kubelka-Munk. Persamaan Kubelka-Munk dinyatakan sebagai berikut [10, 11,12, 13, 14]:

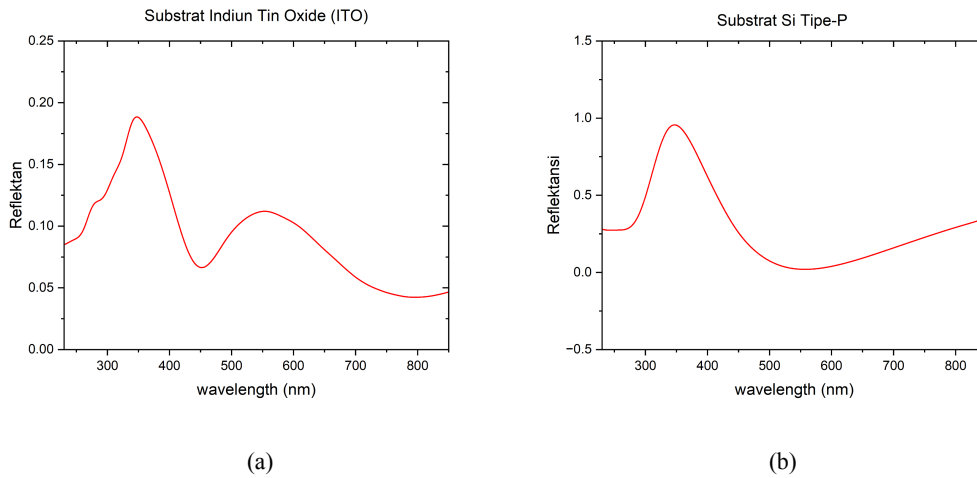
$$F(R) = \frac{K}{S} = (1 - R)^2 \propto \alpha_{K-M} \quad (1)$$

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

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

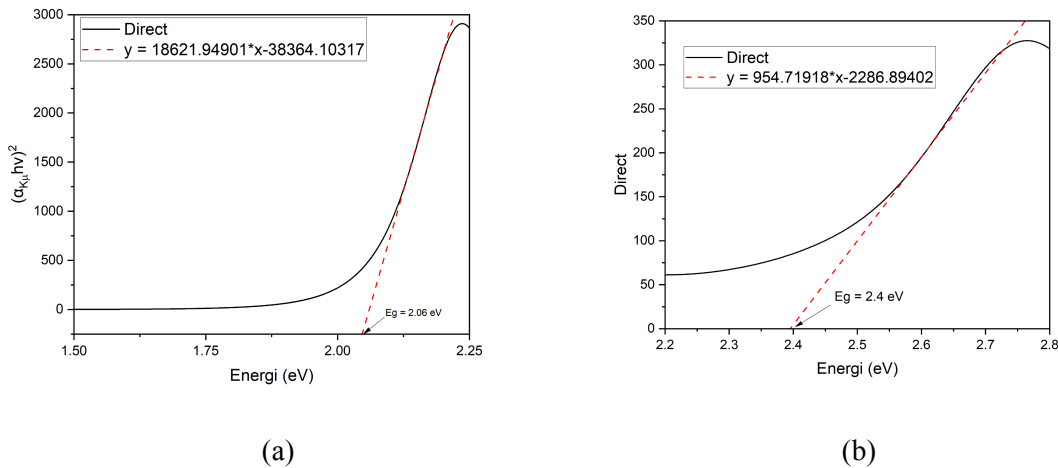
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan sifat optik lapisan tipis BST dengan Substrat kaca Indium Tin Oxide (ITO) dan Substrat Si (100) tipe-p menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Karakterisasi sifat optik berupa spektrum reflektansi, merupakan sifat pemantulan BST terhadap cahaya. Hal ini digunakan untuk menentukan rentang panjang gelombang tertentu yang efektif diterima oleh BST ketika dikenai cahaya. Spektrum reflektansi dapat digunakan untuk menentukan nilai celah energi dari lapisan tipis $\text{Ba}_{0,875}\text{Sr}_{0,125}\text{TiO}_3$.



GAMBAR 1. Reflektansi terhadap Panjang Gelombang (a) Substrat kaca Indium Tin Oxide, (b) Substrat Si (100) Tipe-P

Berdasarkan GAMBAR 1(a) menunjukkan nilai reflektansi maksimum pada panjang gelombang 350 nm sedangkan reflektansi minimum pada panjang gelombang 800 nm. GAMBAR 1(b) menunjukkan nilai reflektansi maksimum pada 345 nm sedangkan reflektansi minimum pada 560 nm. Hal ini menunjukkan Spektrofotometer UV-Vis memanfaatkan sinar dengan panjang gelombang 180-380 nm untuk daerah UV dan 380-780 nm untuk daerah *visible* atau sinar tampak [14].



GAMBAR 2. Analisis Celah Energi Lapisan $Ba_{0.875}Sr_{0.125}TiO_3$, (a) Substrat kaca Indium Tin Oxide dan (b) Substrat Si (100) Tipe-P

Perhitungan celah energi dilakukan dengan mengaplikasikan metode Kubelka-Munk [15]. Berdasarkan persamaan (1), (2), (3), data reflektansi pada gambar 1(a) dan 1(b) di atas menjadi bahan untuk menentukan celah energi langsung dari masing-masing sampel dengan pendekatan teori Kubelka-Munk seperti tampak pada GAMBAR 2. GAMBAR 2(a) menunjukkan hasil analisis celah energi lapisan $Ba_{0.875}Sr_{0.125}TiO_3$ pada substrat kaca Indium Tin Oxide (ITO). Dari grafik tersebut, diperoleh celah energi sebesar 2,06 eV pada suhu 550 °C. Pada penelitian sebelumnya, Sarhaddi *et al.* [16] mendapatkan nilai celah energi *direct* untuk substrat ITO sebesar 3,39-4,02 eV. Nilai yang menunjukkan bahwa lapisan $Ba_{0.875}Sr_{0.125}TiO_3$ memiliki celah energi langsung yang relatif lebar, sesuai

dengan karakteristik material ferroelectric dengan sifat isolator lemah atau semikonduktor tipe-n dengan band gap lebar. GAMBAR 2 (b) menunjukkan hasil analisis celah energi pada substrat Si (100) Tipe-P, sebesar 2,4 eV pada suhu 550 °C. Nilai celah energi yang dihasilkan menunjukkan bahwa pada substrat Si (100) Tipe-P termasuk material semikonduktor karena material semikonduktor memiliki nilai celah energi antara 2,4-4 eV, adapun untuk nilai celah energi lapisan tipis BST pada substrat Si (100) Tipe-P berkisar antara 2,9-3,1 eV [15, 17].

Berdasarkan ekstrapolasi tersebut, diperoleh nilai celah energi untuk sampel lapisan tipis BST seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

TABEL 1. Celah Energi Lapisan Tipis BST pada Substrat

Substrat	Eg (eV)
Substat kaca Indium Tin Oxide (ITO)	2,06
Substrat Si (100) Tipe-P	2,4

Perbedaan nilai celah energi yang diperoleh dari kedua substrat dapat disebabkan karena substrat kaca ITO bersifat konduktif dan transparan, sehingga memungkinkan lebih banyak foton untuk menembus dan berinteraksi dengan lapisan tipis BST. Hal ini menyebabkan penyerapan energi yang lebih rendah, sehingga nilai Eg yang diperoleh lebih kecil. Substart Si (100) Tipe-P bersifat semikonduktor dengan struktur kristal yang teratur. Sifat ini dapat mempengaruhi orientasi pertumbuhan lapisan tipis BST, sehingga menyebabkan perubahan dalam struktur celah energi dan menghasilkan nilai Eg yang lebih besar dibandingkan dengan substrat ITO.

Nilai celah energi pada Substrat kaca ITO menunjukkan bahwa material tersebut lebih sensitif terhadap cahaya pada panjang gelombang lebih panjang (energi lebih rendah), sedangkan pada substrat Si (100) Tipe-P menunjukkan respon terhadap cahaya tidak sensitif dengan panjang gelombang lebih pendek (energi lebih tinggi). Perbedaan ini penting untuk pertimbangan dalam memilih substrat berdasarkan aplikasi sensor cahaya [18].

SIMPULAN

Analisis celah energi lapisan tipis $\text{Ba}_{0,875}\text{Sr}_{0,125}\text{TiO}_3$ dengan substrat ITO dan silikon 100 tipe-p telah berhasil disintesis menggunakan metode CSD dengan teknik *spin coating* dan dikarakterisasi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa nilai celah energi pada substrat kaca ITO sebesar 2,06 eV dan substrat Si (100) Tipe-P sebesar 2,4 eV. Berdasarkan hasil tersebut, pengukuran celah energi pada kedua substrat memberikan kesimpulan bahwa substrat kaca ITO materialnya lebih sensitif terhadap cahaya pada panjang gelombang lebih panjang tetapi energi lebih rendah, sedangkan lapisan tipis pada substrat Si (100) Tipe-P respon terhadap cahaya kurang sensitif dengan panjang gelombang pendek tetapi energi lebih tinggi. Dengan demikian, pemilihan jenis substrat berpengaruh terhadap sensitivitas material dalam aplikasi sensor cahaya.

UCAPAN TERIMAKASIH

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

REFERENSI

- [1] Liman, J. dan Tanudjaja, H. 2018. Perancangan Sensor Cahaya Menggunakan Film BST Dengan Substrat Silikon 100 Type-P dan Indium Tin Oxide. *Jurnal Elektro*, 11(1), 47-56.
- [2] Irzaman, Sitompul H, Masitoh, Misbakhushudur M, Mursyidah. 2016. Optical and structural properties of lanthanum doped lithium niobate thin films. *Ferroelectrics*. 502(1):9–18. doi:10.1080/00150193.2016.1232579.
- [3] Irzaman, Siskandar R, Nabilah N, Aminullah, Yulianto B, Hamam KA, Alatas H. 2018. Application of lithium tantalate (LiTaO₃) films as light sensor to monitor the light status in the Arduino Uno based energy-saving automatic light prototype and passive infrared sensor. *Ferroelectrics*. 524(1), 44-55.
- [4] Anindy U, Nur Indro M., Irzaman. 2021. Piezoelectric properties: cerium oxide (CeO₂) doped barium titanate (BaTiO₃) film on ITO substrate. *Ferroelectrics*, 570(1), 162-175.
- [5] Irzaman, Siskandar R, Jenie RP, Syafutra H, Iqbal M, Yulianto B, Fahmi MZ. 2022. Ferroelectric sensor Ba_xSr_{1-x}TiO₃ integrated with android smartphone for controlling and monitoring smart street lighting. *Journal of King Saud University-Science*. 34(6), 102180.
- [6] Irzaman, Dahrul M, Rahmani M, Rukyati AM, Deswardani F, Peslinof M, Jenie RP, Iskandar j, Wahyuni Y, Priandana K, Siskandar, R. 2024. Design and fabrication of photovoltaics based on MFS (Ag/BaTiO₃/silicon p-type) structure. *Materials Science for Energy Technologies*, 7:29-34.
- [7] Iriani Y, Megasari NH, Nurosyid F. 2019. Pengaruh Suhu Annealing terhadap Struktur Mikro dan Sifat Optik Lapisan Bismuth Ferrite (BiFeO₃). *Indonesian Journal of Applied Physics*, 9(01):41-45.
- [8] Irzaman, Pratama FI, Santi MA, Rukyati AM, Nabila PT, Azzahra FA, Farsyah TMR. 2024. 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). In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2866, No. 1, p. 012021). IOP Publishing.
- [9] Noviarthy dan Angrain D. 2013. Analisis neodimium menggunakan metoda spektrofotometri Uv-Vis. *Jurnal Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir BATAN*. 11(6):9-17
- [10] Kang X, Kang Y, Hong X, Sun Z, Zhen C, Hu C, Liu G, Cheng H. 2018. Improving the photocatalytic activity of graphitic carbon nitride by thermal treatment in a high-pressure hydrogen atmosphere. *Progress in Natural Science: Material Internasional*. 28(2):183-188. Doi: 10.1016/j.pnsc.2018.02.006.

- [11] Karim S, Pardoyo P, Subagio A. 2016. Sintesis dan Karakterisasi TiO₂ Terdoping Nitrogen (N-Doped TiO₂) dengan Metode Sol–Gel. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 19(2):63-67.
- [12] Djohan N, Harsono B, Liman J, Hardhienata H. 2022. Structural, optical properties and raman spectroscopy of In₂O₃ doped LiTaO₃ thin films. *International Journal of Nanoelectronics & Materials*. 15(1).
- [13] Zuhri M, Ramadhan HF. 2023. Synthesis and Characterization of SrTiO₃ Doped with Bi (CH₃COO)₃. *International Journal of Nanoelectronics and Materials (IJNeaM)*, 16(December), 169-182.
- [14] Djohan N, Sevani N, Estrada R, Hardhienata H, Irzaman. 2018. The optical band gap based on K-M function on layer of LiTaO₃ with variation treatment of annealing temperature. ICSGTEIS 2018; 2018 Oct 25-27; Bali, Indonesia. hlm 35-38.
- [15] Irzaman, Pebriyanto Y, Apipah ER, Noor I, Alkadri A. 2015. Characterization of optical and structural of lanthanum doped liTaO₃ thin films. *Journal of Integrated Ferroelectrics*. 167:137-145.
- [16] Sarhaddi R, Shahtahmasebi N, Rezaee Rokn-Abadi M, Bagheri-Mohagheghi MM. 2010. Effect of post-annealing temperature on nano-structure and energy band gap of indium tin oxide (ITO) nano-particles synthesized by polymerizing complexing solgel method. *Physics E: Low-Dimensional Systems Nanostructures*. 43(1):452–457. doi:10.1016/j.physe.2010.08.028.
- [17] Susanto, Liman J, Tamudjaja H. 2018. Perancangan sensor cahaya menggunakan film bst dengan substrat silikon (100) type-p dan indium tin oxide. *Jurnal Elektro*. 11(1): 47-56.
- [18] Faridawati F, Rohedi AY, Minarto E, Yudoyono G, Widihartanti T, Pramono YH, Yuningtyas N. 2021. The comparison of optical properties between Ba_{0,25}Sr_{0,75}TiO₃ and Ba_{0,75}Sr_{0,25}TiO₃ thin films as the light sensors application. *J Phys Conf Ser*. 1825(1):0–6. doi:10.1088/1742-6596/1825/1/012079.