

## SINTESIS LAPISAN TIPIS TiO<sub>2</sub>:(F+In) PADA SUBSTRAT KACA DENGAN METODE SPIN-COATING SEBAGAI BAHAN SEL SURYA

Dedi Riyan Rizaldi<sup>1)</sup>, Aris Doyan<sup>2)</sup>, Susilawati<sup>3)</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Magister Pendidikan IPA, Prgram Pascasarjana, Universitas Mataram, Indonesia

Corresponding author: Dedi Riyan Rizaldi

E-mail:dedi0313@gmail.com

Diterima 30 April 2021, Direvisi 03 Mei 2021, Disetujui 04 Mei 2021

### ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian sintesis lapisan tipis TiO<sub>2</sub> dengan *doping* campuran Fluorin dan Indium. Tujuan penelitian ini untuk menghasilkan lapisan tipis yang baik digunakan sebagai salah satu komponen pada sel surya yaitu lapisan *absorben*. Sintesis lapisan tipis menggunakan metode *spin-coating* dengan bantuan alat *centrifuge* yang dimodifikasi. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kimia Dasar dan Kimia Organik, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram. Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen murni dengan data dianalisis secara deskriptif. Proses sintesis lapisan tipis terdiri dari beberapa tahapan yaitu 1). Persiapan substrat, 2). Pembuatan larutan *sol-gel*, 3). Deposisi lapisan tipis, dan 4). Pemanasan sampel lapisan tipis. Sampel lapisan tipis diberikan tiga perlakuan berbeda yang terdiri dari 1). Konsentrasi larutan, 2). Jumlah lapisan, dan 3). Variasi suhu pemanasan sampel. Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan didapatkan bahwa semakin besar konsentrasi *doping* yang digunakan maka semakin gelap permukaan sampel lapisan tipis yang dihasilkan.

**Kata kunci:** sintesis lapisan tipis; TiO<sub>2</sub>:(F+In); metode *spin-coating*; sel surya.

### ABSTRACT

Research on the synthesis of TiO<sub>2</sub> thin films with doping mixture of Fluorine and Indium has been carried out. The aim of this research is to produce a thin film which is suitable for use as a component of solar cells, namely the absorbent layer. Synthesis of thin films using the spin-coating method with the help of a modified centrifuge. This research was conducted at the Laboratory of Basic Chemistry and Organic Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Mataram University. This type of research is pure experimental research with data analyzed descriptively. The thin layer synthesis process consists of several stages, namely 1). Substrate preparation, 2). Preparation of sol-gel solution, 3). Thin layer deposition, and 4). Heating the thin layer sample. The thin layer sample was given three different treatments consisting of 1). The concentration of the solution, 2). Number of layers, and 3). Variation in sample heating temperature. Based on the research that has been done, it was found that the greater the doping concentration used, the darker the surface of the resulting thin layer sample.

**Keywords:** synthesis thin film, TiO<sub>2</sub>:(F+In), spin-coating method, solar cells

### PENDAHULUAN

Lapisan tipis merupakan salah satu bentuk pengembangan yang dihasilkan dari adanya kemajuan teknologi dalam kehidupan manusia. Lapisan ini dapat berupa senyawa organik ataupun anorganik yang sifatnya semikonduktor (Luo, *et al.* 2019). Lapisan tipis biasa dibuat dengan mendeposisikan suatu senyawa di atas suatu media yang disebut substrat (Abegunde, *et al.* 2019). Pengembangan lapisan tipis dalam penelitian ini dilakukan bertujuan untuk menemukan suatu teknologi nanopartikel yang dapat mempermudah aktivitas manusia dan tentunya memiliki kualitas yang baik. Salah satu bidang yang menjadi perhatian terkait dengan

penelitian tentang lapisan tipis adalah bidang energi.

Kebutuhan manusia akan energi yang terus meningkat menyebabkan manusia perlu mencari atau mengolah energi alternatif pengganti energi konvensional yang sudah digunakan saat ini. Cahaya matahari merupakan salah satu sumber energi yang dapat dimanfaatkan oleh manusia dalam menunjang berbagai aktivitas kehidupan (Amalia & Tamami, 2019; Setiawan, *et al.*, 2018). Potensi energi tersebut akan sangat disayangkan jika tidak dimanfaatkan dengan baik, sehingga diperlukannya suatu teknologi yang mampu mengkonversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik yang disebut

sebagai sel surya (*Solar Cell*). Hal tersebut sejalan dengan data yang diperoleh dari *International Energy Agency* (IEA)(2019), bahwa penggunaan sinar matahari sebagai sumber utama energi dunia akan semakin ditingkatkan untuk menggantikan sumber-sumber energi lainnya hingga tahun 2040. Berdasarkan data tersebut, Indonesia merupakan salah satu negara yang sedang mempersiapkan diri untuk memanfaatkan cahaya matahari sebagai sumber energi alternatif di masa depan melalui teknologi sel surya.

Sel surya atau yang disebut sebagai *Solar Cell* merupakan suatu teknologi yang tersusun dari bahan material yang bersifat semikonduktor dengan prinsip mengubah sinar matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaik (Bredas, *et al.* 2017; Husain, *et al.* 2018; Nayak, *et al.* 2019). Salah satu jenis sel surya yang sering dikembangkan saat ini menurut Ras, *et al.* (2016) adalah *Thin Film Solar Cell* (TFSC). Sel surya jenis ini dihasilkan dengan menambahkan suatu material berupa lapisan tipis ke bagian dalam lapisan dasar sel surya (Buwarda, 2019). Penggunaan lapisan tipis sebagai bahan dalam pembuatan sel surya karena dapat bersifat sebagai bahan semikonduktor.

Salah satu senyawa yang dapat digunakan dalam sintesis (pembuatan) lapisan tipis sebagai bahan sel surya adalah  $\text{TiO}_2$  atau sering disebut Titanium Dioksida (Gondal, *et al.* 2016; Yu, *et al.* 2017; Zhang, *et al.* 2017). Penggunaan  $\text{TiO}_2$  sebagai senyawa pada proses pembuatan lapisan tipis disebabkan senyawa ini memiliki tingkat kestabilan yang tinggi dan tahan terhadap korosi (Syahvalensi, *et al.*, 2019; Wibowo, 2017). Selain itu penelitian ini menggunakan *doping* campuran antara Fluorin dan Indium. Penambahan *doping* Fluorin diharapkan dapat meningkatkan aktivitas fotokatalitik  $\text{TiO}_2$  pada radiasi cahaya tampak (Doyan, *et al.* 2020; Mulyadi, *et al.* 2019). Sedangkan penambahan *doping* Indium mampu menurunkan energi gap pada lapisan tipis dan energi aktivasinya seiring dengan peningkatan konsentrasi *doping* (Munandar, *et al.* 2020). Berdasarkan permasalahan di atas dilakukan penelitian sintesis lapisan tipis tipis  $\text{TiO}_2$  *doping* campuran Indium dan Fluorin dengan metode *spin-coating* dengan tujuan agar dapat menghasilkan lapisan tipis yang memiliki kualitas penyerapan yang baik untuk digunakan sebagai komponen lapisan *absorben* pada sel surya.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen murni dengan teknik analisis data

secara deskriptif. Variabel dalam penelitian ini terdiri atas variabel bebas (independen) yaitu variasi *doping* campuran Fluorin (F) dan Indium (In), sedangkan variabel terikat (dependen) yaitu sintesis lapisan tipis  $\text{TiO}_2$ . Sampel dalam penelitian ini adalah lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  murni dan  $\text{TiO}_2$  dengan *doping* campuran Fluorin dan Indium atau  $\text{TiO}_2:(\text{F}+\text{In})$  melalui proses sintesis pada substrat berupa kaca.

Proses sintesis lapisan tipis  $\text{TiO}_2:(\text{F}+\text{In})$  dilakukan di Laboratorium Kimia Dasar dan Kimia Organik, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Mataram. Proses sintesis lapisan tipis terdiri dari beberapa tahapan antara lain: persiapan substrat, pembuatan larutan *sol-gel*, deposisi lapisan tipis, dan pemanasan sampel lapisan tipis. Alat-alat yang digunakan dalam proses sintesis lapisan tipis antara lain *sentrifuge* modifikasi, *oven*, *furnace*, *magnetic stirrer*, gelas *erlenmeyer*, tabung reaksi, spatula, dan gelas ukur. Sedangkan bahan-bahan yang digunakan antara lain *Titanium(IV) Oxide* ( $\text{TiO}_2$ ) sebagai bahan dasar, *Ammonium Fluoride* ( $\text{NH}_4\text{F}$ ) dan *Indium(III) Chloride* ( $\text{InCl}_3$ ) sebagai bahan *doping*, etanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) sebagai bahan pelarut, *double tape* sebagai perekat substrat kaca di atas *sentrifuge* modifikasi, dan beberapa bahan untuk proses pembersihan substrat kaca seperti aquades, alkohol, dan deterjen.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian sintesis lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  dengan *doping* campuran Fluorin dan Indium dilakukan menggunakan metode *spin-coating* dengan alat *sentrifuge* modifikasi. Menurut Ilcan, *et al.* (2008) menyatakan bahwa metode *spin-coating* memberikan beberapa kemudahan seperti kontrol yang mudah terhadap komponen kimia dan penggunaan biaya yang relatif lebih murah. Sedangkan menurut Doyan, *et al.* (2017) bahwa metode ini dapat digunakan untuk menumbuhkan (sintesis) lapisan tipis pada berbagai bentuk substrat tetapi memiliki kekurangan terkait ketebalan yang dihasilkan belum dapat dikontrol secara maksimal.

Proses awal yang dilakukan adalah menyediakan substrat kaca berukuran (20 x 20 x 3) mm sebagai wadah larutan *sol-gel* ketika proses deposisi dan bahan-bahan yang digunakan. Substrat kaca setelah dipotong sesuai ukuran kemudian dibersihkan dengan melalui dua tahapan yaitu tahap pertama, pembersihan substrat dengan campuran air dan deterjen dan tahap kedua, menggunakan alkohol dengan masing-masing waktu perendaman selama  $\pm 5$  menit. Tujuan dilakukannya proses pembersihan agar

menghilangkan sisa kotoran atau residu yang terdapat pada bahan substrat yang digunakan (Arini, et al., 2017; Sutha, et al., 2017; Zhi & Zhang, 2018). Hal tersebut dikarenakan kotoran pada permukaan substrat dapat menyebabkan proses penempelan larutan sol-gel menjadi tidak rata akibat partikel lainnya. Kemudian setelah substrat kaca dibersihkan kemudian dikeringkan pada suhu ruangan untuk memastikan substrat kaca benar-benar dalam keadaan kering. Semakin kering substrat kaca akan semakin baik kualitas sampel lapisan tipis yang dihasilkan.

Tahap selanjutnya adalah perhitungan berat bahan untuk proses pembuatan larutan sol-gel menggunakan beberapa persamaan berikut ini

a. Penentuan Massa Titanium(IV)Oxide (TiO<sub>2</sub>)

$$(100 - n)\% = \frac{(m_x \text{TiO}_2) \times \frac{1}{M_{\text{rTiO}_2}}}{m_t(\text{NH}_4\text{F} + \text{InCl}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}) \times \frac{1}{M_{\text{rNH}_4\text{F} + \text{InCl}_3}}} \quad (1)$$

b. Penentuan Massa *Doping* NH<sub>4</sub>F + InCl<sub>3</sub>

$$(n)\% = \frac{m_x(\text{NH}_4\text{F} + \text{InCl}_3) \times \frac{1}{M_{\text{rNH}_4\text{F} + \text{InCl}_3}}}{(m_t \text{TiO}_2) \times \frac{1}{M_{\text{rTiO}_2}}} \quad (2)$$

Semua bahan yang digunakan tersebut dilarutkan ke dalam etanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) untuk menghasilkan larutan *sol-gel* sebagai larutan awal sebelum dilakukannya proses deposisi di atas substrat kaca. Penggunaan etanol sebagai bahan pelarut karena sifat cairan ini tidak beracun, netral, nilai absorpsinya baik, dapat dilarutkan pada banyak jenis senyawa, dan panas yang diperlukan untuk proses homogenitas relatif lebih rendah (Fiscaro, et al., 2019; Sa'adah & Nurhasnawati, 2017; Setyani & Wibowo, 2017).

Proses pembuatan larutan *sol-gel* menggunakan bantuan alat *magnetic stirer* sampai larutan homogen atau tercampur merata (Selama ± 1 jam). Larutan *sol-gel* yang disiapkan dalam penelitian ini terdiri dari lima konsentrasi (0, 5, 10, 15, dan 20)%. Berdasarkan perhitungan diperoleh jumlah masing-masing bahan untuk pembuatan larutan *sol-gel* lapisan tipis TiO<sub>2</sub>:(F+In) yaitu

**Tabel 1.** Kuantitas Bahan Pembentuk Lapisan Tipis TiO<sub>2</sub>:(F+In)

Konsentrasi (%)	Massa TiO <sub>2</sub> (gr)	Massa F (gr)	Massa In (gr)
100:0	4,96	0	0
95:5	4,71	0,02	0,14
90:10	4,47	0,03	0,26

85:15	4,22	0,05	0,37
80:20	3,97	0,06	0,47

Berikut tampilan larutan *sol-gel* Titanium Dioksida murni (TiO<sub>2</sub>) serta dengan diberikan *doping* campuran Fluorin dan Indium (TiO<sub>2</sub>:F+In) setelah mengalami proses *diaging* pada suhu ruangan selama 24 jam yang dapat dilihat pada Gambar 1.

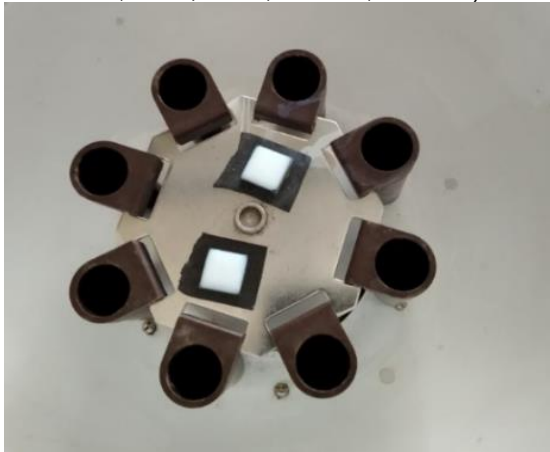


**Gambar 1.** Larutan TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub>:(F+In) dengan Persentase *Doping* 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%

Berdasarkan Gambar 1. terlihat bahwa terdapat perbedaan warna antara larutan tanpa *doping* dengan larutan yang diberikan *doping* campuran Fluorin dan Indium. Semakin tinggi jumlah *doping* yang diberikan maka tingkat kejernihan larutan yang dihasilkan akan semakin tinggi. Hal ini dapat terjadi karena bentuk Indium dan Fluorin yang digunakan dalam penelitian ini memiliki tingkat transparansi yang tinggi sehingga dapat menjernihkan larutan TiO<sub>2</sub> setelah dicampurkan dengan etanol. Pernyataan tersebut sejalan dengan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya bahwa Indium dan Fluorin merupakan bahan dengan senyawa yang memiliki tingkat warna transparan yang tinggi (Bierwagen, 2015; Hakim et al, 2019).

Larutan *sol-gel* kemudian dideposisikan di atas substrat kaca menggunakan alat *sentrifuge* modifikasi sebanyak 15 tetes dengan kecepatan putar yaitu 1000 rpm selama ±1,5 menit. Penggunaan alat *sentrifuge* modifikasi untuk memastikan larutan *sol-gel* tersebar merata pada permukaan substrat kaca (Chandramohan, et al., 2017; Riyanti, 2019). Gaya sentrifugal mengakibatkan cairan *sol-gel* menjadi tersebar secara radial keluar dari pusat putaran menuju tepi substrat, pada tahap ini substrat akan mengalami proses percepatan tertentu (Sariroh, 2018). Semakin tinggi kecepatan putar yang digunakan maka akan semakin baik kualitas permukaan lapisan tipis pada substrat kaca yang dihasilkan selama

proses *spin-coating* (Bautista-Ruiz, *et al.*, 2018; Jomekian, *et al.*, 2017; Sariroh, A. 2017).



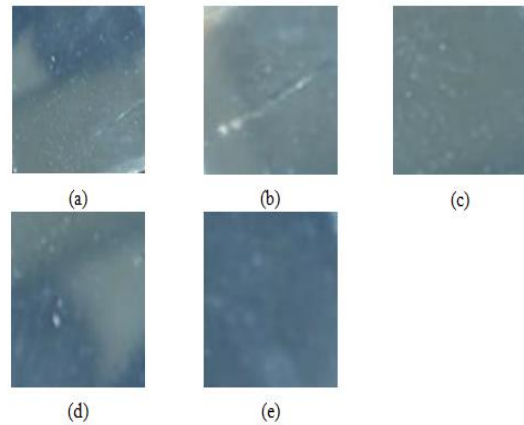
**Gambar 2.** Proses Deposisi Lapisan Tipis  $\text{TiO}_2:(\text{F}+\text{In})$

Tahap terakhir dari sintesis lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  adalah proses pemanasan sampel pada beberapa variasi suhu (50, 100, 150, 200, dan 250)°C selama  $\pm 30$  menit, kemudian setelah itu sampel *diaging* pada suhu ruangan. Tujuan dilakukannya proses pemanasan sampel agar cairan pada pelarut saat setelah dideposisi di atas substrat kaca dapat menguap dan hanya menyisakan lapisan dengan ketebalan yang relatif sama, serta memaksimalkan terbentuknya kristal pada substrat yang digunakan (Maddu, *et al.*, 2018).



**Gambar 3.** Proses Pemanasan Sampel Lapisan Tipis  $\text{TiO}_2:(\text{F}+\text{In})$

Kemudian perlakuan yang sama dilakukan kembali untuk menambahkan *layer* di atas sampel yang sudah *diaging* sebelumnya. Sampel akhir proses sintesis lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  murni dan terdoping campuran Fluorin dan Indium dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Sampel Lapisan Tipis  $\text{TiO}_2:(\text{F}+\text{In})$  berbagai konsentrasi a). 0%, b). 5%, c). 10%, d). 15%, dan e). 20% pada suhu 250 °C

Berdasarkan Gambar 4. Terlihat bahwa hasil sampel lapisan tipis berbeda dengan tampilan larutan *sol-gel* sebelum dilakukan perlakuan seperti proses deposisi dan pemanasan. Perbedaan ini dimungkinkan karena salah satu sifat dari senyawa  $\text{TiO}_2$  cenderung dapat berubah kondisi seiring dengan tingginya suhu yang digunakan.

#### SIMPULAN DAN SARAN

Titanium Dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) dapat dijadikan sebagai bahan dasar dalam proses sintesis lapisan tipis yang *doping* dengan campuran Fluorin dan Indium sebagai bahan dasar dalam pengembangan sel surya lapis tipis. Proses sintesis lapisan tipis menggunakan metode *spin-coating* di atas substrat kaca. Semakin tinggi tingkat konsentrasi *doping* yang digunakan menyebabkan tampilan permukaan lapisan tipis semakin terlihat gelap. Berdasarkan kondisi tersebut diharapkan sampel lapisan tipis  $\text{TiO}_2:(\text{F}+\text{In})$  memiliki sifat absorpsi yang tinggi dalam menyerap energi dari cahaya matahari.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Bapak Dr. Aris Doyan, M.Si., Ph.D., Ibu Dra. Susilawati, M.Si., Ph.D, dan pihak lainnya yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini. Semoga hasil dari penelitian ini bisa menjadi referensi untuk rekan-rekan peneliti selanjutnya khususnya yang berkaitan dengan sintesis lapisan tipis.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Abegunde, O. O., *et al.* (2019). Overview of Thin Film Deposition Techniques. *AIMS Materials Science*, 6(2), 174-199.
- Amalia, A., & Tamamy, A. J. (2019). Kesiapan Masyarakat Semarang dalam

- Pemanfaatan Potensi Energi Surya sebagai Sumber Energi Alternatif Berkelanjutan. *SAINTEK: Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi Industri*, 2(2), 39-48.
- Arini, et al. (2017). Pengaruh Waktu Deposisi dan Temperatur Substrat Terhadap Pembuatan Kaca Konduktif FTO (Fluorine doped Tin Oxide)[The Influence of Deposition Time and Substrate Temperature in Manufacturing Process of FTO (Fluorine doped Tin Oxide) Conductive Glass]. *Metalurgi*, 32(1), 1-8.
- Bautista-Ruiz, J., Aperador, W., & Olaya, J. J. (2018). Effect of Centrifugal Speed on the Anticorrosive Properties of Bismuth-Silicon Coatings by Sol-Gel on 316L Substrates. *Rasayan Journal of Chemistry*, 11(2), 597-607.
- Bierwagen, O. (2015). Indium oxide—a transparent, wide-band gap semiconductor for (opto) electronic applications. *Semiconductor Science and Technology*, 30(2), 024001.
- Bredas, J.L., Sargent, E. H., & Scholes, G. D. (2017). Photovoltaic Concepts Inspired by Coherence Effects in Photosynthetic System. *Nature Materials*, 16(1), 35-44.
- Buwarda, S. (2019). AZTS dengan Metode Sol-Gel sebagai Lapisan Buffer Bebas Cadmium pada Sel Surya CZTS. *Jurnal Keteknik dan Sains (JUTEKS)*, 2(1), 1-7.
- Chandramohan, A., et. al. (2017). Model For Large Area Monolayer Coverage of Polystyrene Nanosphere by Spin Coating. *Scientific Reports*, 7, 1-8.
- Doyan, A., Fitri, S. A., & Ahzan, S. (2017). Crystal structure characterization of thin layer zinc oxide. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 196, No. 1, p. 012004). IOP Publishing.
- Doyan, A., Susilawati, S., & Mulyadi, L. (2020). Synthesis of Tin Oxide Thin Layer by Doping Aluminum, Fluorine, and Indium Using Sol-Gel Spin Coating Technique. *JPPIPA (Jurnal Penelitian Pendidikan IPA)*, 7(1), 11-14.
- Fisicaro, G., et al. (2019). Wet Environment Effects for Ethanol and Water Adsorption on Anatase TiO<sub>2</sub> (101) Surfaces. *The Journal of Physical Chemistry C*, 124(4), 2406-2419.
- Gondal, M. A., Ilyas, A. M., & Baig, U. (2016). Facile Synthesis of Silicon Carbide-Titanium Dioxide Semiconducting Nanocomposite Using Pulsed Laser Ablation Technique and its Performance in Photovoltaic Dye Sensitized Solar Cell and Photocatalytic Water Purification. *Applied Surface Science*, 378, 8-14.
- Hakim, S., Doyan, A., & Susilawati, L. M. (2019). *Synthesis Thin Films SnO<sub>2</sub> with Doping Indium by Sol-Gel Spin Coating*. Material Sciences.
- Husain, A. A., et al. (2018). A Review of Transparent Solar Photovoltaic Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 779-791.
- Ilican, S., Caglar, Y., & Caglar, M. (2008). Preparation and Characterization of ZnO Thin Films Deposited by Sog-Gel Spin Coating Method. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 10(10), 2578-2583.
- International Energy Agency. (2019). *World Energy Outlook 2019*. Prancis: IEA.
- Jomekian, A., et al. (2017). High speed spin coating in fabrication of Pebax 1657 based mixed matrix membrane filled with ultra-porous ZIF-8 particles for CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> separation. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 34(2), 440-453.
- Luo, M., et al. (2019). *High-Performance Partially Printed Hybrid CMOS Inverters Based on Indium-Zinc-Oxide and Chirality Enriched Carbon Nanotube Thin-Film Transistors*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.
- Maddu, A., et al. (2018). Struktur dan Sifat Optik Film ZnO Hasil Deposisi Dengan Teknik Spin-Coating Melalui Proses Sol-Gel. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 7(3), 85-90.
- Mulyadi, L., Doyan, A., Susilawati, S., & Hakim, S. (2019). Synthesis of SnO<sub>2</sub> Thin Layer with a Doping Fluorine by Sol-Gel Spin Coating Method. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 5(2), 175-178.
- Munandar, H., Doyan, A., & Susilawati, S. (2020). Synthesis of SnO<sub>2</sub> Thin Coatings by Indium and Aluminum Mixed Doping using the Sol-Gel Spin-Coating Technique. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 6(2), 152-156.
- Nayak, P. K., et al. (2019). Photovoltaic Solar Cell Technology: Analysing the State of The Art. *Nature Reviews Materials*, 4(4), 269.
- Ras, D. A., Kirchart, T., & Rau, U. (2016). *Advanced Characterization Techniques for Thin Film Solar Cells*. USA: John Wiley & Sons.
- Riyanti, R. S. (2019). Pengaruh Kecepatan Putaran Spin Coating Terhadap

- Performansi Perovskite Solar Cell. *Jurnal Mahasiswa TEUB*, 7(4).
- Sa'adah, H., & Nurhasnawati, H. (2017). Perbandingan pelarut etanol dan air pada pembuatan ekstrak umbi bawang tiwai (*Eleutherine americana* Merr) menggunakan metode maserasi. *Jurnal ilmiah manuntung*, 1(2), 149-153.
- Sariroh, A. (2018). Pengaruh Kecepatan dan Waktu Putar Spin Coating Terhadap Ketebalan Lapisan Tipis Material Berbasis Polimer Pmma (Polymethyl Methacrylate). *Inovasi Fisika Indonesia*, 7(1), 1-4.
- Setiawan, W., Hermawan, R., & Suardi, S. (2018). Analisa Potensi Angin Dan Cahaya Matahari Sebagai Alternatif Sumber Tenaga Listrik Di Wilayah Laut Sawu. *JST (Jurnal Sains Terapan)*, 4(1), 57-62.
- Setyani, A., & Wibowo, E. A. P. (2017). Pengaruh Pelarut terhadap Karakteristik Nanopartikel Titanium Dioksida ( $\text{TiO}_2$ ). *Jurnal Ilmiah Sains*, 17(1), 26-29.
- Sutha, S., et al. (2017). Transparent alumina based superhydrophobic self-cleaning coatings for solar cell cover glass applications. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 165, 128-137.
- Syahvalensi, N., Rokhmat, M., & Wibowo, E. (2019). Pengaruh Penambahan Karbon pada Fotokatalis Berbahan Dasar  $\text{TiO}_2$  untuk Mendegradasi Methylene Blue. *In eProceedings of Engineering*, 6(1).
- Wibowo, E. A. P. (2017). Sintesis Komposit N- $\text{TiO}_2$  /Bentonit dan Karakterisasi Menggunakan FTIP. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 5(1), 96-99.
- Yu, X., et al. (2017). Recent Advances in the Synthesis and Energy Applications of  $\text{TiO}_2$  -Graphene Nanohybrids. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 172, 252-269.
- Zhang, Y., et. al. (2017). Mesocrystalline  $\text{TiO}_2$  Nanosheet Arrays with Exposed {001} Facets: Synthesis Via Topotactic Transformation and Applications in Dye-Sensitized Solar Cells. *Nano Research*, 10(8), 2610-2625.
- Zhi, J., & Zhang, L. Z. (2018). Durable superhydrophobic surface with highly antireflective and self-cleaning properties for the glass covers of solar cells. *Applied Surface Science*, 454, 239-248.