



Pengaruh Fraksi Nano ($\text{TiO}_2\text{:SnO}_2$) Terhadap Struktur dan Efisiensi DSSC $\text{TiO}_2\text{:SnO}_2/\beta$ -karoten/FTO

Received
19 Maret 2018

Revised
16 April 2018

Accepted for Publication
26 November 2019

Published
28 Februari 2020

B Zaini¹, S Maryam¹, S E I Suryani¹, S W Himmah¹, Z Nurdiana¹, S Solehudin¹, T Suprayogi¹, S Sunaryono^{1,2}, M Diantoro^{1,2*}

¹Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang, Malang, 65115, Indonesia.

²Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang, Malang, 65115, Indonesia.

*E-mail: markus.diantoro.fmipa@um.ac.id



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Abstract

The use of renewable energy based on solar energy has been developed in recent years in the form of solar cells, especially DSSC. SnO_2 semiconductor has the largest band gap of 3,6 eV and TiO_2 in anatase and rutile has a value of 3,2 and 3,0 eV. SnO_2 and TiO_2 have some similarities in electronic and structural properties. In this study, the formation of $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$ composites was performed using variations Wt% of TiO_2 100%, 97%, 94%, 88%, and 85%. We used coprecipitation techniques for TiO_2 nanoparticles (NP), while sol gel for SnO_2 NP. The analysis of XRD data showed that TiO_2 NP match with anatase structure with grain size of 8,89 nm and 28 nm for SnO_2 NP. We also found that efficiency increases with increasing mass of TiO_2 . The maximum efficiency value was noted at 100% TiO_2 is 0,18%.

Keywords: DSSC, β -karoten, $\text{TiO}_2\text{-SnO}_2$ composite.

Abstrak

Penggunaan energi terbarukan berbasis energi matahari banyak dikembangkan dalam beberapa tahun terakhir berupa solar sel khususnya dalam bentuk DSSC. Semikonduktor SnO_2 memiliki *band gap* yang paling besar yaitu 3,6 eV dan TiO_2 dalam bentuk anatase dan *rutile* memiliki nilai 3,2 dan 3,0 eV. SnO_2 dan TiO_2 memiliki beberapa kemiripan pada sifat elektronik dan struktural. Pada penelitian ini, pembentukan komposit $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$ dilakukan dengan menggunakan variasi Wt% massa TiO_2 100%, 97%, 94%, 88%, dan 85%. Kami menggunakan teknik kopresipitasi untuk nanopartikel (NP) TiO_2 , sedangkan sol gel untuk NP SnO_2 . Analisis data XRD menunjukkan NP TiO_2 sesuai dengan struktur anatase dengan ukuran butir 8,89 nm dan 28 nm untuk NP SnO_2 . Kami temukan bahwa efisiensi meningkat dengan bertambahnya massa TiO_2 . Nilai efisiensi maksimum tercatat pada 100% TiO_2 yaitu 0,18%.

Kata Kunci: DSSC, β -karoten, komposit $\text{TiO}_2\text{-SnO}_2$.

1. Pendahuluan

Energi merupakan kebutuhan utama dalam kehidupan sehari-hari. Energi juga merupakan bagian isu yang paling penting di seluruh dunia [1]. Salah satu kebutuhan energi yang sangat diperlukan untuk kelangsungan hidup manusia ialah energi listrik [2], [3]. Beberapa contoh energi listrik yang sedang dikembangkan para ilmuwan diantaranya *solar cell*, *supercapacitor* dan gabungan *solar-supercap*. Salah satu sumber energi yang jumlahnya tidak terbatas adalah energi matahari, matahari menyediakan sekitar 120.000 terawatt ke permukaan bumi yang setara dengan enam ribu kali tingkat konsumsi energi dunia saat ini [4]. Perangkat konversi energi matahari menjadi energi listrik salah satunya dengan membentuk solar sel.

Prinsip dasar *solar cell* ini merupakan teknologi yang menggunakan suatu material yang dapat menyerap cahaya dan mengonversinya menjadi energi listrik [3], [5]. *Solar cell* memiliki berbagai jenis, seperti *perovskite high fluorescence* dan *organic green technology* atau *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) [5], [6]. DSSC memiliki beberapa bagian yaitu fotoanoda, *dye* dan *counter* elektroda. Fotoanoda umumnya berasal dari bahan semikonduktor karena sifat yang penting dari semikonduktor untuk dijadikan sebagai fotoanoda adalah nilai *band gap*. Bahan semikonduktor dengan *band gap* relatif besar yakni ZnO (3,3 eV) atau TiO₂ (3,4 eV) sehingga kedua bahan ini cocok untuk dijadikan fotoanoda pada DSSC. Banyak metode sintesis telah digunakan untuk membuat TiO₂ nanopartikel diantaranya *sol-gel*, *hydrothermal*, *solvothermal* dan lainnya [7].

Semikonduktor mampu menyerap foton dari cahaya pada rentang ultraviolet, sedangkan sinar matahari lebih banyak pada daerah cahaya tampak, oleh karena itu, semikonduktor perlu disesuaikan *bandgap*-nya agar dapat menyerap cahaya pada rentang cahaya tampak, salah satunya dengan memberikan *dye* (pewarna organik). Pemberian *dye* akan menyesuaikan nilai *band gap* semikonduktor agar dapat menyerap cahaya dalam rentang cahaya tampak. Tipe *dye* yang biasa digunakan dalam DSSC yaitu klorofil, β -karoten diantara bahan ini, β -karoten memiliki keunggulan digunakan sebagai saluran transportasi muatan. *Band gap* TiO₂ dan semikonduktor tipe-n intrinsik, telah banyak diteliti sebagai sensor gas NO₂ [8]. Struktur paling atas dari DSSC adalah elektroda *counter* yaitu adalah salah satu komponen sel surya tak terpisahkan yang sangat peka (DSSCs), bagian DSSC yang mengatalisis pengurangan injeksi elektron I₃⁻ ke I⁻ [9].

DSSC juga terinspirasi oleh mekanisme transfer energi dan elektron dalam fotosintesis alami dan emulsi perak halida yang mengandung zat warna yang digunakan untuk fotografi [10]. DSSC memberikan konversi energi matahari dengan efisiensi melebihi 12% menggunakan TiO₂ mesopori 10 μ m, berdasarkan pewarna organik sebagai *sensitizer* dan kobalt sebagai elektrolit [8]. Pewarna berbasis Rutenium seperti N3, N719 adalah *sensitizer* berperforma terbaik untuk DSSC dalam hal stabilitas dan efisiensinya dalam mengubah energi matahari menjadi listrik yang dapat melebihi 11% di bawah kondisi uji standar [11], [12]. Nanopartikel TiO₂ anatase mesopori telah digunakan secara luas sebagai fotoanoda di DSSC karena mempunyai luas permukaan tinggi [13], [14] dan menghasilkan tingkat konversi energi listrik sebesar ~13% [15].

DSSC mempunyai keunggulan pada fabrikasi yang mudah dan efisiensi konversi daya yang menjanjikan [5], [16], [17]. Dalam beberapa penelitian, disebutkan bahwa pewarna berbasis ruthenium seperti N3 [18], N719 merupakan *sensitizer* yang baik. Namun, penggunaan ruthenium sangat rumit, biaya mahal, dan mengandung logam berat yang dapat mencemari lingkungan [18]–[20]. Penelitian sebelumnya tentang DSSC mesoporus Fe₂O₃-TiO₂ menghasilkan efisiensi rendah yaitu ~3.0 %. SnO₂ memiliki stabilitas terhadap sinar UV karena *band gap* 3.6 lebih besar dari TiO₂ sebesar 3.2 eV [15]. Penelitian lainnya jua menyatakan bahwa SnO₂ murni menunjukkan hasil *photovoltage* rendah. Namun DSSC dengan bahan komposit nano TiO₂/SnO₂ belum banyak dilaporkan. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian tentang solar sel yang mengkaji tentang bagaimana pengaruh fraksi nano TiO₂/SnO₂.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini diawali dengan sintesis nano partikel TiO₂ dan SnO₂. Kedua nano partikel disintesis melalui teknik berbeda. Nano partikel TiO₂ disintesis dari bahan TiCl₃ (99% *sigma aldrich*), HCl dan NH₃ menggunakan metode kopresipitasi. Nanopartikel SnO₂ disintesis dari SnCl₂ (99% *sigma aldrich*) menggunakan metode *sol-gel*. Larutan untuk membuat pasta yang digunakan adalah sodium *dedocyl* sulfat (SDS), PEG-6000, *aquades*, dan asetil aseton. Bahan-bahan lain yang digunakan adalah FTO sebagai substrat, β -karoten digunakan sebagai *dye* dan larutan elektrolit dibuat menggunakan KI, I₂ dan PEG-4000. *Dye* yang digunakan dalam penelitian ini adalah β -karoten. Kemudian membuat pasta TiO₂, SnO₂ dan komposit TiO₂/SnO₂ yang digunakan sebagai fotoanoda dalam DSSC sebelum dilapiskan pada substrat FTO *glass*.

Film komposit TiO₂/SnO₂/FTO yang telah dideposisikan dengan metode *screen printing* selanjutnya dicelupkan pada larutan *dye* β -karoten. Kemudian pelapisan bahan katalis dengan menggunakan karbon dari jelaga api lilin yang dideposisikan pada elektroda lawan FTO dengan ukuran yang telah disesuaikan dengan elektroda kerja. Selanjutnya kedua elektroda disusun menjadi susunan *sandwich*, pada salah satu elektroda ditetesi dengan larutan elektrolit KI.

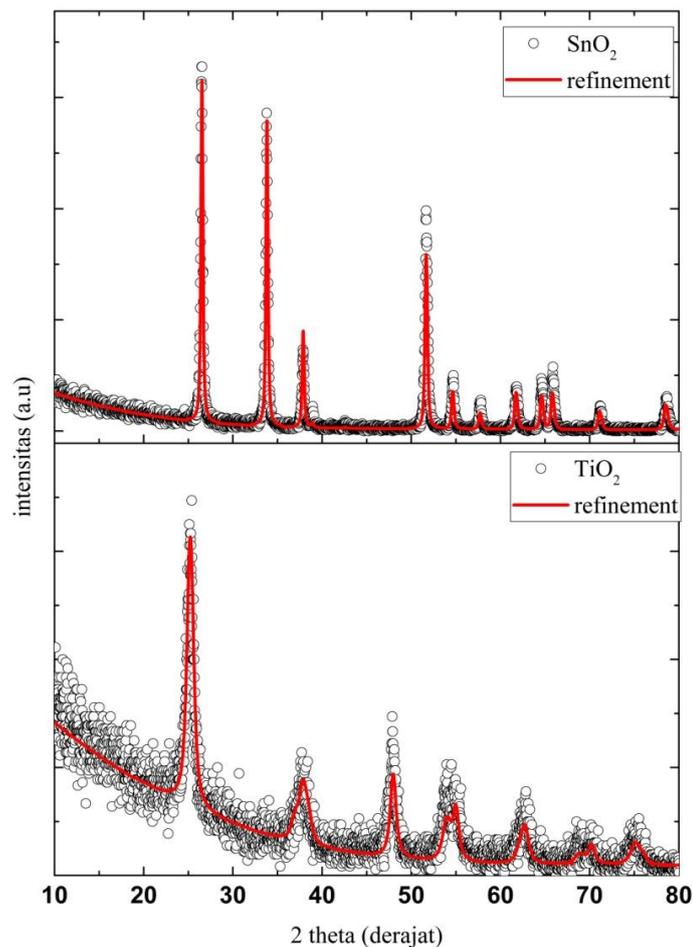
Variabel bebas pada penelitian ini adalah fraksi massa (wt%) nano partikel $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$ dengan perbandingan 97/3, 94/6, 91/9, 88/12, dan 85/15 dalam sistem film komposit $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$ dengan *dye* untuk *device* DSSC.

Untuk mengarakterisasi sifat dari sampel, digunakan beberapa metode karakterisasi yaitu XRD untuk mengetahui struktur kristal dari fotoanoda dan menghitung ukuran partikel serta perangkat PECCELL untuk mengukur efisiensi sampel. Analisis hasil karakterisasi menggunakan *software* HSP untuk mengetahui fase yang terbentuk, Rietica untuk mengetahui struktur kristalnya, dan *Origin* untuk menghitung ukuran kristal serta menampilkan data.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Struktur SnO_2 dan TiO_2

Berikut disajikan data XRD untuk sampel nano SnO_2 dan TiO_2



Gambar 1. Pola difraksi SnO_2 dan TiO_2 nanopartikel

Hasil dari analisis pola XRD untuk sampel SnO_2 dan TiO_2 ditampilkan pada Gambar 1. Secara umum kedua sampel adalah murni tanpa ada pengotor. Hal ini ditunjukkan dengan tidak munculnya puncak fase lain. SnO_2 hasil karakterisasi pola XRD mempunyai fase *rutile* dengan puncak pada sudut difraksi $2\theta = 26^\circ, 37^\circ, 38^\circ, 42^\circ, \text{ dan } 51^\circ$. Berdasarkan perhitungan menggunakan rumus Scherrer menggunakan *software* *Origin* diperoleh ukuran butir sebesar 28 nm. Hasil *refinement* *Rietica* diperoleh dengan $R_p = 19.84$, $R_{wp} = 25.99$, $\chi^2 = 1.615$ dengan grup ruang $P4_2/mnm$. Parameter kisi kristal SnO_2 cocok dengan $a = b = 4,73 \text{ \AA}$, $c = 3,18$ dengan volume kristal 72.01 \AA^3 . Parameter kisi yang dimiliki oleh SnO_2 hasil sintesis hampir sama dengan SnO_2 no COD 969007534 yaitu sebesar $a = b = 4.73 \text{ \AA}$, $c = 3.18 \text{ \AA}$. Struktur kristal yang dimiliki oleh SnO_2 adalah tetragonal dengan grup ruang.

Sampel TiO₂ menunjukkan fase anatase dengan puncak intensitas difraksi pada sudut 2θ pada 10°, 25°, 37°, 47°, 53°, dan 62°. Pola puncak ini serupa dengan TiO₂ disintesis oleh [21]. Berdasarkan perhitungan menggunakan rumus Scherrer menggunakan *software Origin* diperoleh ukuran butir sebesar 8,89 nm. Hasil *refinement Rietica* diperoleh dengan $R_p = 19.20$, $R_{wp} = 26.66$, $\chi^2 = 1.210$ dengan grup ruang $I4_1/amd$ informasi parameter kisi kristal $a = b = 3,80 \text{ \AA}$, $c = 9,47 \text{ \AA}$ dengan volume kristal 136.84 \AA^3 . Parameter kisi yang dimiliki oleh TiO₂ hasil sintesis menunjukkan nilai yang cocok dengan TiO₂ no COD 1530151 yaitu sebesar $a = b = 3.78$, $c = 9.51 \text{ \AA}$.

3.2 Analisis Performa Solar Sel

Pengukuran terhadap performa solar sel dilakukan menggunakan *Peccell Solar Simulator* dan diperoleh beberapa parameter yang dapat digunakan untuk menentukan kualitas sel DSSC. Parameter performa solar sel ditunjukkan pada Tabel 1. Nilai efisiensi masing-masing sampel digrafikkan dalam Gambar 2 dan bentuk kurva I-V ditunjukkan pada Gambar 3.

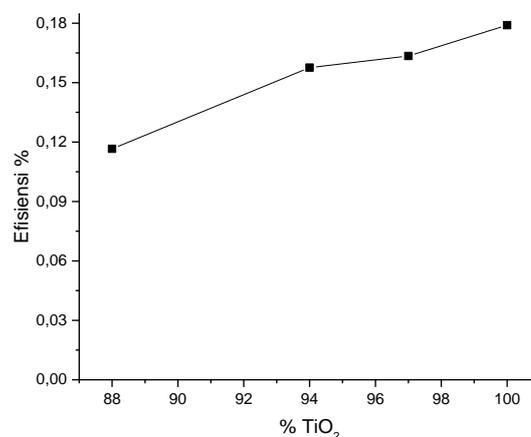
Berdasarkan Tabel 1, diperoleh beberapa besaran yang dapat dijadikan parameter performa DSSC. Agar sumber energi ini dapat lebih kompetitif dengan sumber energi lain, maka perlu terus diupayakan peningkatan efisiensinya. Salah satu besaran yang menjadi parameter unjuk kerja sel surya adalah faktor pengisian (*Fill Factor* = FF). *Fill Factor* sel surya merupakan besaran tak berdimensi yang menyatakan perbandingan daya maksimum yang dihasilkan sel surya terhadap perkalian antara V_{oc} dan I_{sc} , menurut persamaan [1]

$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{oc} I_{sc}} \quad (1)$$

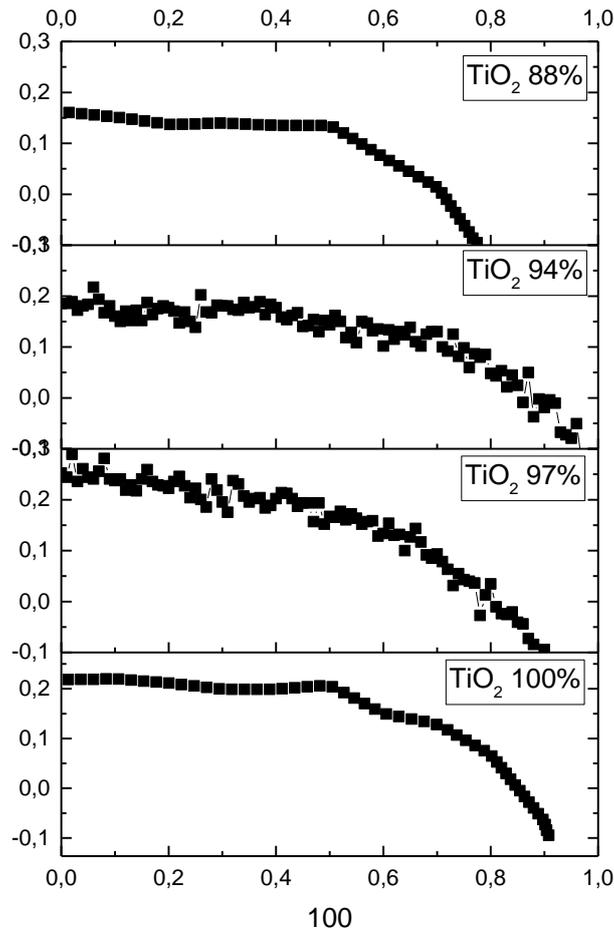
dengan V_m = tegangan pada titik kerja maksimum, I_m = arus pada titik kerja maksimum, V_{oc} = tegangan rangkaian terbuka (*open circuit voltage*), I_{sc} = arus hubung singkat (*short circuit current*). Semakin besar harga FF suatu sel surya, maka unjuk kerja sel surya tersebut semakin baik, dan akan memiliki efisiensi konversi energi yang semakin tinggi. Berdasarkan persamaan (1) besarnya FF sangat tergantung pada nilai dari perkalian V_{oc} dan I_{sc} .

Tabel 1. Parameter performa sel

% TiO ₂	I_{sc} (mA)	J_{sc} (mA cm ⁻²)	V_{oc} (V)	<i>Fill Factor</i>	<i>Efficiency</i> (%)	Pmax (mW)	I_{max} (mA)	R_s (ohm)
100	0,065	0,218	0,882	0,537	0,17897	0,031	0,062	874,7117
97	0,063	0,252	0,802	0,467	0,16341	0,023	0,035	2985,013
94	0,046	0,185	0,888	0,554	0,15755	0,022	0,031	2388,087
88	0,040	0,162	0,708	0,404	0,11658	0,016	0,033	2653,418



Gambar 2. Persentase TiO₂ terhadap efisiensi



Gambar 3. Grafik I-V DSSC TiO₂/SnO₂

Berdasarkan Gambar 2, dapat diamati nilai efisiensi dari masing-masing variasi, kenaikan massa TiO₂ berbanding lurus dengan kenaikan efisiensi DSSC yang dihasilkan. Hasil ini menunjukkan bahwa TiO₂ memiliki performa yang baik untuk dijadikan fotoanoda pada DSSC. Pembentukan komposit TiO₂/SnO₂ pada penelitian tidak meningkatkan nilai efisiensi pada DSSC. Nilai efisiensi yang ditunjukkan pada DSSC dengan fotoanoda SnO₂ tanpa TiO₂ sangat kecil yaitu 0,002% dan nilai ini jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan fotoanoda TiO₂ tanpa komposit yaitu sekitar 0,179%.

Gambar 3 menunjukkan grafik I-V yang dibentuk dari pengukuran. Bentuk grafik yang diperoleh sesuai dengan grafik I-V DSSC hal ini mengindikasikan bahwa DSSC telah terbentuk. Dari keempat grafik dapat diketahui bahwa nilai beda potensial (V) sampel berada pada rentang 0,65 hingga 0,85 Volt dengan nilai rapat arus 0,15 mA hingga 0,3 mA. Dapat dilihat pada sampel TiO₂ 88% nilai beda potensial 0,7 dengan rapat arus 0,17. Sampel TiO₂ 94% nilai beda potensial 0,19 dengan rapat arus 0,85. TiO₂ 97% nilai beda potensial 0,25 dengan rapat arus 0,8. TiO₂ 100% nilai beda potensial 0,23 dengan rapat arus 0,85. Semakin bertambahnya TiO₂ maka semakin tinggi beda potensial yang dihasilkan pada penelitian DSSC ini.

4 Kesimpulan

Material foto anoda DSSC pada penelitian ini adalah TiO₂ dan SnO₂, berdasarkan hasil analisis menggunakan *software Rietica* dan *Origin* didapatkan hasil ukuran butir TiO₂ dan SnO₂ masing-masing 8,89 nm dan 28 nm. Variasi massa TiO₂/SnO₂ berpengaruh terhadap efisiensi DSSC. Pada variasi massa, efisiensi meningkat dengan bertambahnya massa TiO₂. Nilai efisiensi maksimum yang dihasilkan pada 100% TiO₂ yaitu 0,18%.

Ucapan Terima Kasih

Sebagian dari riset ini didanai dari hibah Insinas Pratama dengan nomor kontrak: 21.8.23/UN32.14/LT/2017 atas nama Markus Diantoro.

Daftar Rujukan

- [1] R. Patel, J. A. Seo, J. H. Koh, J. H. Kim, and Y. S. Kang, "Dye-sensitized solar cells employing amphiphilic poly (ethylene glycol) electrolytes," *J. Photochem. Photobiol. Chem.*, vol. 217, no. 1, pp. 169–176, 2011.
- [2] Y. Duan *et al.*, "A dye-sensitized solar cell having polyaniline species in each component with 3.1%-efficiency," *J. Power Sources*, vol. 284, pp. 178–185, Jun. 2015.
- [3] H. Li, C. Xie, Y. Liao, Y. Liu, Z. Zou, and J. Wu, "Characterization of Incidental Photon-to-electron Conversion Efficiency (IPCE) of porous TiO₂/SnO₂ composite film," *J. Alloys Compd.*, vol. 569, pp. 88–94, Aug. 2013.
- [4] S. Headley, "Youth studies Australia: an obituary," *Youth Stud. Aust. Online*, vol. 32, no. 4, p. 1, 2013.
- [5] J. Gong, K. Sumathy, Q. Qiao, and Z. Zhou, "Review on dye-sensitized solar cells (DSSCs): Advanced techniques and research trends," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 68, pp. 234–246, Feb. 2017.
- [6] G. Richhariya, A. Kumar, P. Tekasakul, and B. Gupta, "Natural dyes for dye sensitized solar cell: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 69, pp. 705–718, Mar. 2017.
- [7] R. Rahimi, M. M. Moghaddas, S. Zargari, and R. Rahimi, "Synthesis of Mesoporous V-TiO₂ with Different Surfactants: The Effect of Surfactant Type on Photocatalytic Properties," in *Advanced Materials Research*, 2013, vol. 702, pp. 56–61.
- [8] Y. Gönüllü, G. C. M. Rodríguez, B. Saruhan, and M. Ürgen, "Improvement of gas sensing performance of TiO₂ towards NO₂ by nano-tubular structuring," *Sens. Actuators B Chem.*, vol. 169, pp. 151–160, 2012.
- [9] L. Wei *et al.*, "Valence Band Edge Shifts and Charge-transfer Dynamics in Li-Doped NiO Based p-type DSSCs," *Electrochimica Acta*, vol. 188, pp. 309–316, Jan. 2016.
- [10] D. Yu, G. Zhu, S. Liu, B. Ge, and F. Huang, "Photocurrent activity of light-harvesting complex II isolated from spinach and its pigments in dye-sensitized TiO₂ solar cell," *Int. J. Hydrog. Energy*, vol. 38, no. 36, pp. 16740–16748, Dec. 2013.
- [11] L. K. Singh and B. P. Koiry, "Natural Dyes and their Effect on Efficiency of TiO₂ based DSSCs: a Comparative Study," *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 1, Part 2, pp. 2112–2122, Jan. 2018.
- [12] I. Zama, C. Martelli, and G. Gorni, "Preparation of TiO₂ paste starting from organic colloidal suspension for semi-transparent DSSC photo-anode application," *Mater. Sci. Semicond. Process.*, vol. 61, pp. 137–144, Apr. 2017.
- [13] B. Boro, B. Gogoi, B. M. Rajbongshi, and A. Ramchiary, "Nano-structured TiO₂/ZnO nanocomposite for dye-sensitized solar cells application: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 81, pp. 2264–2270, Jan. 2018.
- [14] M. M. S. Sanad, A. E. Shalan, M. M. Rashad, and M. H. H. Mahmoud, "Plasmonic enhancement of low cost mesoporous Fe₂O₃-TiO₂ loaded with palladium, platinum or silver for dye sensitized solar cells (DSSCs)," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 359, pp. 315–322, Dec. 2015.
- [15] Q. Wali, Z. H. Bakr, N. A. Manshor, A. Fakhruddin, and R. Jose, "SnO₂-TiO₂ hybrid nanofibers for efficient dye-sensitized solar cells," *Sol. Energy*, vol. 132, pp. 395–404, Jul. 2016.
- [16] F. Huang, D. Chen, Y. Chen, R. A. Caruso, and Y.-B. Cheng, "Mesoporous titania beads for flexible dye-sensitized solar cells," *J. Mater. Chem. C*, vol. 2, no. 7, pp. 1284–1289, 2014.
- [17] M. S. Su'ait, M. Y. A. Rahman, and A. Ahmad, "Review on polymer electrolyte in dye-sensitized solar cells (DSSCs)," *Sol. Energy*, vol. 115, pp. 452–470, May 2015.
- [18] M. Grätzel, "Conversion of sunlight to electric power by nanocrystalline dye-sensitized solar cells," *J. Photochem. Photobiol. Chem.*, vol. 164, no. 1, pp. 3–14, Jun. 2004.
- [19] P. Karthika, S. Ganesan, and M. Arthanareeswari, "Low-cost synthesized organic compounds in solvent free quasi-solid state polyethyleneimine, polyethylene glycol based polymer

- electrolyte for *dye*-sensitized solar cells with high photovoltaic conversion efficiencies,” *Sol. Energy*, vol. 160, pp. 225–250, Jan. 2018.
- [20] M. Stuckelberger, R. Biron, N. Wyrsh, F.-J. Haug, and C. Ballif, “Review: Progress in solar cells from hydrogenated amorphous silicon,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 76, pp. 1497–1523, Sep. 2017.
- [21] S. V. Ingale *et al.*, “TiO₂-Polysulfone Beads for Use in Photo Oxidation of Rhodamine B,” *Soft Nanosci. Lett.*, vol. 2, no. 4, p. 67, 2012.