

Analisis ekstrak kubis ungu (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*) dan umbi bit (*Beta vulgaris*) sebagai dye untuk aplikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)

Analysis of purple cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*) and beetroot (*Beta vulgaris*) extracts as dye for Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) application

Juli Erlia, Edwar Iswardy, Nurul Azmi, dan Mursal*

Received 10 March 2022

Accepted 22 July 2022

Published July 2022

Program Studi Magister Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh 23111, Indonesia

Abstrak. Telah dilakukan analisis karakteristik zat warna ekstrak umbi bit (*Beta vulgaris*) dan kubis ungu (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*) sebagai aplikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari karakteristik dye ekstrak kubis ungu, umbi bit dan gabungan keduanya terhadap rentang panjang gelombang, energi gap dan gugus fungsi untuk pengaplikasian pada DSSC. Dye alami yang digunakan dari ekstrak umbi bit (*Beta vulgaris*) dan kubis ungu (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*) dengan proses maserasi dan evaporasi. Kemudian ekstrak tersebut dikarakterisasi menggunakan Spektrofometer UV-Vis dan Fourier Transform Infrared (FTIR). Hasil penelitian menunjukkan ekstrak umbi bit (*Beta vulgaris*), kubis ungu (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*) dan gabungan keduanya mampu menyerap pada panjang gelombang 390-520 nm, 640-680 nm, dan 420-500 nm. Puncak maksimum yang dihasilkan adalah 480 nm, 665 nm, dan 477 nm. Energi gap berturut-turut sebesar 2.58 eV, 1.86 eV, dan 2.59 eV.

Abstract. An analysis of the dye characteristics of beetroot (*Beta vulgaris*) and purple cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*) extracts have been carried out as a Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) application. This research aimed to study the dye characteristics of purple cabbage, beetroot, and a combination of the two extracts on the wavelength range, energy gap, and functional groups for the application of DSSC. The natural dye is used from extracts of beetroot (*Beta vulgaris*) and purple cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*) by maceration and evaporation processes. Then the extract was characterized using UV-Vis Spectrophotometer and Fourier Transform Infrared (FTIR). The results showed that beetroot extract (*Beta vulgaris*), purple cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*) and the combination of the two were able to absorb at wavelengths of 390-520 nm, 640-680 nm, and 420-500 nm. The maximum peaks produced were 480 nm, 665 nm, and 477 nm. The energy gap is 2.58 eV, 1.86 eV, and 2.59 eV, respectively.

Keywords: Beetroot, purple cabbage, dye, optical properties, Chemical Group

Pendahuluan

Menjelang awal abad ke-21, pemanfaatan sumber energi tak terbarukan terutama batubara dan minyak sangat dominan. Hampir 90% daya dihasilkan dari produk berbasis minyak bumi. Sumber daya energi yang tidak berkelanjutan mengandung hidrogen dan karbon yang tinggi campuran batubara, minyak dan gas yang mudah terbakar. Sehingga para peneliti mencari sumber energi alternatif yaitu energi matahari yang dapat diubah menjadi energi listrik melalui devais sel surya (Sengupta *et al.*, 2015). Saat ini teknologi sel surya terus berkembang hingga ditemukannya sel surya dengan memanfaatkan zat warna sebagai bahan peka cahaya atau disebut Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) (Kim *et al.*, 2012).

DSSC dikembangkan menggunakan prinsip fotoelektrokimia, yaitu proses penangkapan energi foton pada tingkat molekul dan mengubahnya menjadi energi listrik (Dette *et al.*, 2014). Kinerja DSSC dalam mengubah energi cahaya menjadi energi listrik ditentukan oleh komponen semikonduktor oksida dan dye yang

digunakan. Lapisan semikonduktor yang paling umum digunakan dalam DSSC adalah TiO₂. Semikonduktor TiO₂ dipilih karena memiliki potensial tinggi sebagai fotooksidasi, bersifat antirefleksi, fotokatalis, ekonomis, mudah didapat, dan tidak beracun (Hasan *et al.*, 2010; O'Regan, 1991).

Selain komponen semikonduktor, dye juga merupakan bagian penting dari DSSC. Dye berperan penting dalam penyerapan cahaya. Dengan demikian, kemampuan dye menyerap cahaya sangat mempengaruhi injeksi foton dan kinerja DSSC. Oleh karena itu, peningkatan penyerapan cahaya oleh dye harus efektif untuk meningkatkan efisiensi. Dye yang digunakan sebagai sensitizer berupa dye alami dan dye sintesis. Dye sintesis berupa organik logam berbasis ruthenium kompleks yang memiliki keunggulan tingkat penyerapan dan efisiensi yang cukup tinggi, namun dye jenis ini harganya terbilang cukup mahal (Satapathi, 2014). Sehingga penggunaan dye alami dinilai sebagai alternatif potensial dalam meningkatkan respon cahaya semikonduktor pada lapisan

DSSC. Dye alami dapat diekstrak dari bagian tumbuhan seperti daun, bunga, dan buah yang umumnya mengandung pigmen seperti klorofil, antosianin, dan betalain (Eli et al., 2016).

Beberapa peneliti memilih dye alami dengan cara membandingkan hasil serapan dye dari pigmen klorofil berasal dari ekstrak *Scent leaves* (daun wangi) dan betalain berasal dari ekstrak *Bougainvillea spectabilis* pada semikonduktor berbasis TiO₂. Diperoleh hasil efisiensi DSSC lebih besar dihasilkan dari pigmen betalain sebesar 0.040% dan efisiensi pigmen klorofil 0.021% (Eli et al., 2016). Penggabungan dua jenis ekstrak dye antosianin kubis ungu dan betalain umbi bit berbasis fotoelektroda ZnO diperoleh hasil efisiensi sebesar 0.382%. Hasil efisiensi dye gabungan tersebut lebih besar dari pada masing-masing efisiensi dari dye yang digunakan (Sinha et al., 2018). Dye yang berasal dari ekstrak umbi bit kering dan umbi bit segar juga menunjukkan umbi bit kering lebih baik karena menghasilkan panjang gelombang yang cukup lebar dibandingkan umbi bit segar (Sakshi et al., 2020). Kubis ungu juga meningkatkan efisiensi DSSC menjadi 0.460% dengan fotoelektroda berbasis TiO₂ (Buraidah et al., 2011; Bhogaita et al., 2016). Dalam penelitian ini, peneliti menyajikan hasil penelitian ekstrak dye dari umbi bit (*Beta Vulgaris*), kubis ungu (*Brassica oleracea var. capitata f. rubra*) dan memvariasikan kedua ekstrak tersebut untuk mengetahui kemampuan serapan cahaya matahari sebagai pengaplikasian dye pada DSSC.

Metodologi

Umbi bit dan kubis ungu dicuci bersih dan dipotong-potong kecil kemudian dikeringkan pada suhu ruang selama lima hari untuk menghilangkan kadar air. Kubis ungu dan umbi bit yang telah dikeringkan dihaluskan dengan mesin penghalus. Selanjutnya, umbi bit dan kubis ungu masing-masing sebanyak 300 g dimasukkan kedalam wadah tertutup untuk dilakukan proses perendaman (maserasi) selama tiga hari dengan menggunakan pelarut etanol 96%. Setelah proses maserasi, sampel disaring menggunakan kertas saring whatman no. 42 dan menghasilkan larutan. Kemudian dilakukan proses evaporasi dengan menggunakan mesin *rotary evaporator* untuk menghasilkan ekstrak dari umbi bit dan kubis ungu.

Selanjutnya, ekstrak umbi bit dan kubis ungu dilakukan pengujian absorbsi dye terhadap cahaya dengan menggunakan *Spectrometer UV-Vis Shimadzu UV-1700* dan diidentifikasi gugus fungsi dari masing-masing ekstrak menggunakan *Spectrometer FTIR*. Setiap Ekstrak dari umbi bit dan kubis ungu dicampur dengan perbandingan 30:70, 50:50, dan 70:30. Hal ini dilakukan untuk menghasilkan warna baru yang lebih peka terhadap penyerapan sinar matahari. Hasil Ekstrak umbi bit dan kubis ungu setelah pengeceran untuk pengujian ditunjukkan pada Gambar 1 dan 2:



Gambar 1. Hasil ekstrak kubis ungu setelah pengenceran



Gambar 2. Hasil ekstrak umbi bit setelah pengenceran

Hasil Penelitian

Karakterisasi sifat optik umbi bit dan kubis ungu menggunakan spektrofometer UV-Vis pada rentang panjang gelombang 300-800nm. Hasil pengukuran yang diperoleh pada umbi bit, kubis ungu dan gabungan keduanya dapat dilihat pada Gambar 3. Gambar tersebut berupa grafik hubungan absorbsi terhadap panjang gelombang dari ekstrak alami yang digunakan.

Gambar 3 memperlihatkan grafik hubungan absorpsi terhadap panjang gelombang dari kubis ungu dan umbi bit. Rentang panjang gelombang kubis ungu berada pada 640-680 nm dengan panjang gelombang maksimum adalah 665 nm. Umbi bit pada rentang panjang gelombang 390-520 nm dan penyerapan maksimum pada panjang gelombang 480 nm. Kubis ungu umbi bit (50:50) pada rentang panjang gelombang 420-500 nm dan panjang gelombang maksimum adalah 477 nm. Untuk kubis ungu : umbi bit (30 : 70) dan kubis ungu : umbi bit (70 : 30) mempunyai rentang panjang gelombang yang sama yaitu 410-500 nm dengan panjang gelombang maksimum 478 nm.

Berdasarkan data yang telah diperoleh yaitu berupa rentang panjang gelombang dan energi gap pada masing-masing *dye*. Dapat dianalisis bahwa *dye* kubis ungu memiliki performansi yang lebih baik jika digunakan sebagai sensitizer pada DSSC dibandingkan dengan *dye* umbi bit. Sedangkan pada *dye* gabungan kedua jenis ekstrak tidak menunjukkan hasil yang cukup baik. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sinha (2018), penggabungan *dye* dari dua jenis pigmen, yaitu antosianin dari kubis ungu dan pigmen betalain dari umbi bit akan menunjukkan hasil lebih baik. Penggabungan dari dua jenis *dye* yang berbeda menghasilkan penyerapan spektrum panjang gelombang yang lebih luas dan energi gap yang dihasilkan lebih kecil. Berdasarkan hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa penggabungan ekstrak

umbi bit dan kubis ungu berpotensi untuk dijadikan *sensitizer* pada DSSC. Perbedaan tersebut dapat terjadi karena perbedaan proses ekstraksi yang digunakan (Sinha *et al.*, 2018). Perhitungan energi gap dapat dilakukan dengan persamaan 1, hasil perhitungan dari kelima sampel ditunjukkan pada Tabel 1.

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (1)$$

Dimana E adalah energi foton (eV), h adalah konstanta Planck ($6,626 \times 10^{-34}$ J.s), c adalah kecepatan cahaya (3×10^8 m/s), dan λ adalah panjang gelombang cahaya yang datang (m).

Tabel 1. Perhitungan energi gap ekstrak kubis ungu, umbi bit, dan pencampuran keduanya

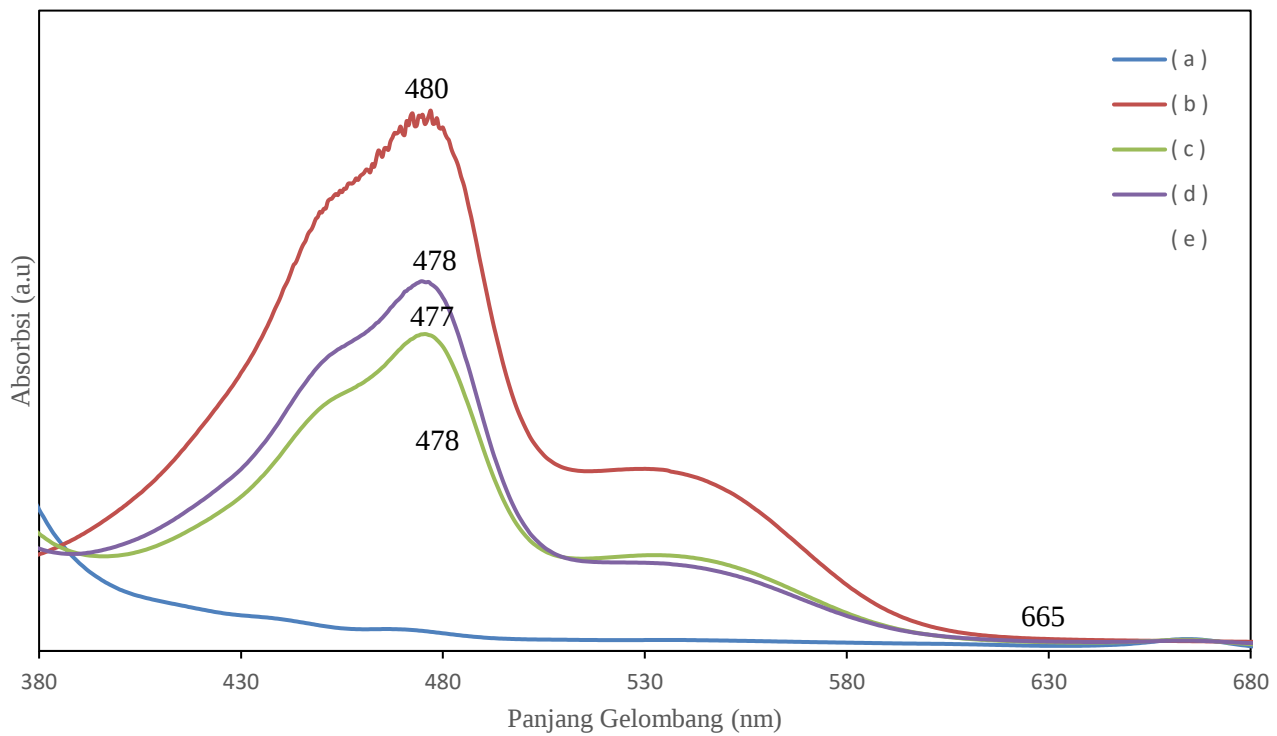
Sampel	Range Gelombang (nm)	Panjang Gelombang Maksimum (nm)	Eg (eV)
Kubis ungu	640-680	665	1.86
Umbi bit	390-520	480	2.58
Kubis ungu umbi bit (50:50)	420-500	477	2.59
Kubis ungu : umbi bit (30 :70)	410-500	478	2.59
Kubis ungu : umbi bit (70 : 30)	410-500	478	2.59

Dari kelima sampel yang diperoleh, energi gap yang paling rendah terlihat pada kubis ungu yaitu 1.86 eV dan tertinggi pada penggabungan keduanya yaitu 2.59 eV. Namun kubis ungu memiliki rentang panjang gelombang yang lebih sempit dibandingkan dengan dengan umbi bit dan pencampuran keduanya. Rentang panjang gelombang sangat mempengaruhi pada proses penyerapan cahaya, semakin lebar rentang panjang gelombang yang dihasilkan maka energi matahari yang diserap akan semakin banyak. Oleh karena itu, rentang panjang gelombang sangat mempengaruhi ketika diaplikasikan pada DSSC (Sakshi *et al.*, 2020; Buraidah *et al.*, 2011; Bhogaita *et al.*, 2016).

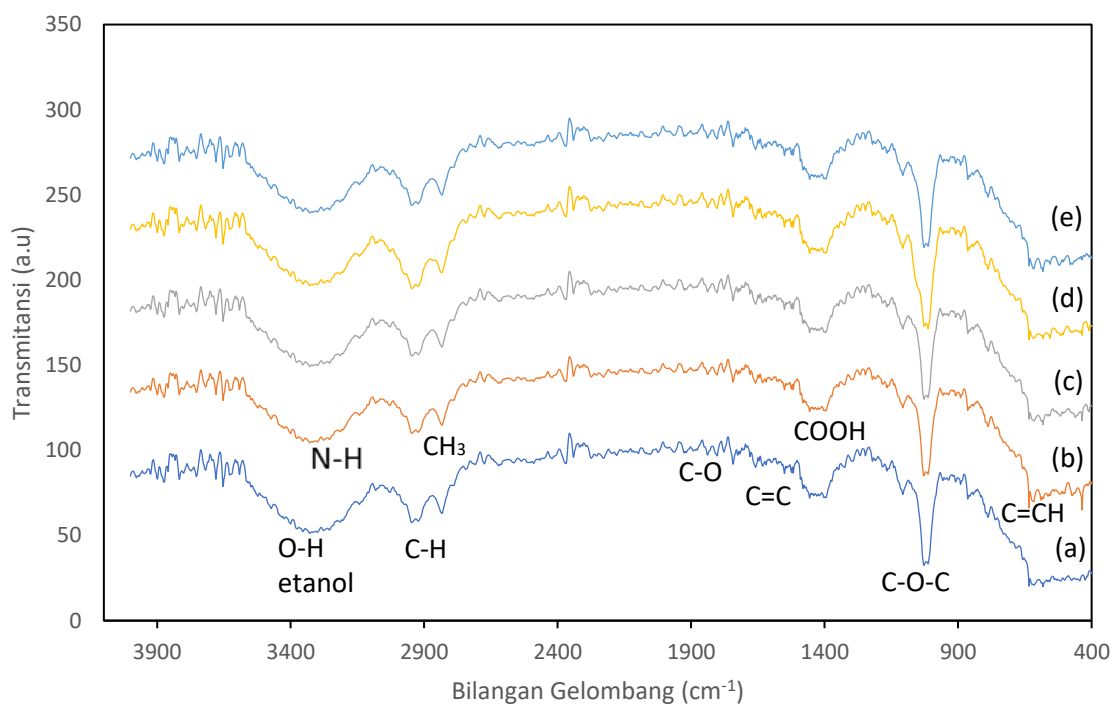
Analisa FTIR dilakukan pada serapan bilangan gelombang sekitar 4000-400 cm^{-1} dengan sumbu x merupakan bilangan gelombang (cm^{-1}) dan sumbu y merupakan %transmitansi. Gambar 2 (a) *dye* kubis menunjukkan puncak khas yang dimiliki ekstrak antosianin yaitu pada bilangan gelombang 2945 cm^{-1}

mewakili gugus C-H, bilangan gelombang 1753 cm^{-1} adanya ikatan C-O dan 1550 cm^{-1} adanya ikatan C=C. Puncak pada bilangan gelombang 3329 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi dari gugus hidroksil O-H dan karboksil C-H. Selain itu, terdapat serapan pada bilangan gelombang 1028 cm^{-1} yaitu vibrasi aromatik gugus C-O-C (Oktavi *et al.*, 2020).

Untuk *dye* ekstrak umbi bit (b) yang mengandung pigmen betalain memiliki puncak lebar pada 3270-3400 cm^{-1} mewakili getaran perengangan N-H. Pada bilangan gelombang 2900-2980 cm^{-1} adanya ikatan CH_3 . Daerah antara 1200-1800 cm^{-1} sesuai dengan gugus karboksil COOH [1]. Gambar 4 (c) sampai (e) menginformasikan tren grafik dan gugus organik yang dihasilkan sama dengan (a) dan (b). Hal tersebut terjadi karena gambar (c) sampai (e) merupakan perpaduan dari kedua ekstrak walaupun memiliki nilai %transmitansi yang sedikit berbeda.



Gambar 3 Spektrum absorpsi *dye*; (a) kubis, (b) umbi bit, (c) kubis ungu : umbi bit (50:50), (d) kubis ungu : umbi bit (30:70), (e) kubis ungu : umbi bit (70:30).



Gambar 4 Spektrum pengukuran FTIR; (a) ekstrak Kubis, (b) ekstrak umbi bit, (c) ekstrak kubis:umbi bit (50:50), (d) ekstrak kubis:umbi bit (30:70), dan (e) ekstrak kubis:umbi bit (70:30).

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh *dye* ekstrak kubis ungu memiliki nilai energi gap yang cenderung lebih kecil yaitu 1.86 eV dari pada nilai energi gap umbi bit yaitu 2.58

eV. Namun, umbi bit mampu menyerap cahaya pada rentang panjang gelombang yang lebih luas yaitu 390-520 nm sehingga disimpulkan bahwa kedua ekstrak dari kubis

ungu dan umbi bit memiliki potensi untuk dijadikan sebagai *dye* pada pengaplikasian DSSC.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada orang tua, dosen pembimbing, dan semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

Referensi

- Buraidah, M. H., Teo, L. P., Yusuf, S. N. F., Noor, M. M., Kufian, M. Z., Careem, M. A., Majid, S. R., Taha, R. M., & Arof, A. K. (2011) TiO₂/Chitosan-NH₄ I (+I2)-BMII-based dye Synthesized Solar Cells With Anthocyanin Dyes Extracted From Black Rice and Red Cabbage. *International Journal of Photoenergy*. **11**: 1–11.
- Bhogaita, M. A. D., Shukla, R. P., & Nalini. (2016) Recent Advances in Hybrid Solar Cell Based on Natural Dye Extracts from Indian Plant Pigment as Sensitizers. *Solar Energy*. **137**: 212-224.
- Calogero, G., Yum, J. H., Sinopoli, A., Di Marco, G., Grätzel, M., & Nazeeruddin, M. K. (2012) Anthocyanins and Betalain as Light-harvesting Pigments for Dye-sensitized Solar Cells. *Solar energy*. **86**(5): 1563-157.
- Christian, D., Miguel, A., Pérez-Osorio, Christopher, S. K., Paul, P., Christopher E. P., Peter, J., Feliciano, G., Soon J. J., & Klaus, K. (2014) TiO₂ Anatase with a Bandgap in the Visible Region. *Nano Letters*. **14**(11) : 6533–6538.
- Kim, D. Y., & Kang, M. (2012) Diversification of Photoelectric Efficiency on DSSCs Assembled According to The Change of Coating Layers of Px-TiO₂ films. *Journal Material Chemistry and Physics*. **136**: 947–953.
- Eli, D., Musa, G. P., dan Ezra, D. (2016) Chlorophyll and Betalain as Light Harvesting Pigments for Nanostructured TiO₂ Based Dye-Sensitized Solar Cells. *Journal of Energy and Natural Resources*. **5**(5), 53-58.
- Hasan, E. S., Jahiding, M., Hasrin, Sudiana I. N., & Idris, I. (2010) Karakterisasi Lapisan Titanium Dioksida (TiO₂) sebagai Bahan Dielektrik Sensor Kelembaban Jenis Kapasitif. *Jurnal Aplikasi Fisika*. **6**(2): 83-87.
- Oktavi, R. A., Cahyono, B., & Suzery, M. (2020) Enkapsulasi Ekstrak Antosianon dari Bunga Rosela (*Hibiscus sabdariffa* L) dengan Variasi Penyalut. *Akta Kimia Indonesia*. **5**(2): 86-101.
- O'Regan, B., Grätzel, M., (1991). A Low-cost, High Efficiency Solar Cell based on Dye-sensitized Colloidal TiO₂ Films. *Nature*. **353**: 737–740.
- Sakshi, Pramod, K. S., & Vivek, K. S.,(2020). Widening Spectral Range of Absorption using natural dyes: Applications in Dye Sensitized Solar Cell. *Materials Today: Proceedings*. **12**(287): 2214-7853.
- Satapathi, S., Hardeep, S. G., Sriya, D., Lian, L., Lynne, S., Micah, J. G., & Jayant, K. (2014) Performance Enhancement of Dye-Sensitized Solar Cells By Incorporating Grapheme Sheets of Various Sizes. *Applied Surface Science*. **314**: 638-641.
- Sengupta, D., Mondal, B., & Mukherjee, K. (2015) Visible Light Absorption and Photo-Sensitizing Properties of Spinach Leaves and Beetroot Extracted Natural Dyes. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. **148**: 85-92.
- Sinha, D., De, D., Goswami, D., & Ayaz, A. (2018) Fabrication of DSSC With Nanostructured ZnO Photo Anode and Natural Dye Sensitizer. *Materials Today: Proceedings*. **5**(1): 2056-2063