



e-ISSN Number
2655 2967

Available online at <https://jurnal.teknologiindustriumi.ac.id/index.php/JCPE/index>

Journal of Chemical Process Engineering

Volume 6 Nomor 1 (2021)



SINTA Accreditation
Number 28/E/KPT/2019

Studi Komparasi Penggunaan TiO₂ Anatase dan P25 sebagai Anoda untuk Sel Surya Tersensitasi Bixin

(Comperative Study of the Use of TiO₂ Anatase and P25 as Anodes for Bixin Sensitized Solar Cell)

Septiani, Uray Amira Naselia, Imelda H. Silalahi, Thamrin Usman, Winda Rahmalia*

Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Tanjungpura, Jl. Ahmad Yani, Pontianak, 78124 telp.0896-5530-1262

Inti Sari

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan kinerja sel surya yang menggunakan TiO₂-anatase dan TiO₂-P25 sebagai anoda. Bixin digunakan sebagai *sensitizer*. Bixin diekstraksi dan diisolasi dari biji kesumba. Bixin dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan FTIR. Hasil analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis menunjukkan adanya 3 puncak karakteristik bixin pada 488, 459, 430 nm. Spektra FTIR bixin ditandai dengan adanya serapan pada bilangan gelombang 3183 cm⁻¹ mengindikasikan vibrasi renggang -OH yang berasal dari gugus karboksilat; pada 2955, 2924, dan 2852 cm⁻¹ vibrasi renggang H-C-H; pada 1716 cm⁻¹ vibrasi renggang C=O; pada 1608 cm⁻¹ vibrasi tekuk O-H; pada 1563 dan 1518 cm⁻¹ vibrasi renggang C=C (alkena); pada 1379 cm⁻¹ vibrasi tekuk C-H; pada 1255 cm⁻¹ vibrasi renggang C-O; pada 1161 cm⁻¹ vibrasi simetri dan asimetri C-O-C (kelompok ester); serta pada 1012 cm⁻¹ vibrasi renggang C-H. Kinerja sel surya yang menggunakan TiO₂-antase menunjukkan efisiensi konversi energi maksimum yang lebih tinggi (0,027%) jika dibandingkan dengan TiO₂-P25 (0,006%) di bawah intensitas cahaya 100 W/m².

Kata Kunci: Bixin, sel surya tersensitasi pewarna, TiO₂ anatase and P25

Key Words : Bixin, dye sensitized solar cell, TiO₂ anatase and P25

Abstract

The present research was conducted in order to determine the performance of solar cells that use TiO₂-anatase and P25 as electrode. Bixin was used as a sensitizer. Bixin was analysed using UV-Vis and FTIR spectrophotometer. The analysis using UV-Vis spectrophotometer showed that there were 3 peaks characteristic of bixin at 488, 459, 430 nm. FTIR spectra of bixin was showed that the characterized bixin by the presence of vibration peaks at of 3183 cm⁻¹ indicating the -OH originating from carboxylate group, at 2955 cm⁻¹; 2924 cm⁻¹, and 2852 cm⁻¹ the H-C-H stretching vibration, at 1716 cm⁻¹ the C=O stretching vibration, at 1608 cm⁻¹ the O-H bending vibration, at 1563 and 1518 cm⁻¹ the C=C (alkene) stretching vibration, at 1379 cm⁻¹ the C-H bending vibration, at 1255 cm⁻¹ the C-O stretching vibration, at 1161 cm⁻¹ symmetric and asymmetric vibration of the C-O-C (ester group), and at 1012 cm⁻¹ the C-H bending vibration. The performance of solar cells using TiO₂-antase shows a higher maximum energy conversion efficiency

Published by

Department of Chemical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Universitas Muslim Indonesia, Makassar

Address

Jalan Urip Sumohardjo km. 05 (Kampus 2 UMI)
Makassar- Sulawesi Selatan

Phone Number

+62 852 5560 3559
+62 852 4220 3009

Corresponding Author

winda.rahmalia@chemistry.untan.ac.id



Journal History

Paper received : 10 Juli 2020
Received in revised : 04 Februari 2021
Accepted 30 Mei 2021

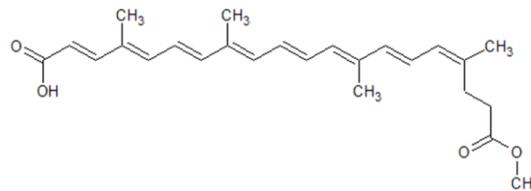
(0.027%) when compared to TiO₂-P25 based solar cell (0.006%) under the light intensity of 100 W/m².

PENDAHULUAN

Sel surya tersensitasi pewarna (*Dye sensitized solar cell/DSSC*) merupakan perangkat fotovoltaik yang dapat mengkonversi secara langsung energi foton menjadi energi listrik tanpa mengemisikan gas CO₂. DSSC merupakan jenis sel surya generasi ketiga. Sistem DSSC terdiri atas 5 komponen utama yaitu kaca konduktif (*conductive glasses*), anoda, *sensitizer*, elektrolit, dan katoda [1]. Efisiensi konversi energi listrik dari DSSC yang menggunakan kompleks Ruthenium N719 sebagai *sensitizer* mencapai 10,73% [2]. Penggunaan DSSC berbasis *sensitizer* kompleks Ruthenium dapat menghasilkan efisiensi yang tinggi, namun penggunaan kompleks Ruthenium ini memiliki keterbatasan dari segi ketersediaan bahan baku yang sangat terbatas, sehingga menyebabkan harga kompleks Ruthenium yang tinggi, selain itu kompleks Ruthenium tidak mudah untuk disintesis [3].

Penggunaan pewarna alami memiliki potensi yang besar untuk dijadikan sebagai *sensitizer* dikarenakan ketersediaannya yang melimpah, dan proses sintesis yang lebih sederhana. *Sensitizer* yang berasal dari bahan alam harus dapat menyerap semua panjang gelombang (hingga panjang gelombang 920 nm), memiliki gugus karboksilat yang dapat digunakan untuk berikatan di permukaan semikonduktor (TiO₂) [4].

Bixin (C₂₅H₃₀O₄) merupakan salah satu pewarna alami yang berasal turunan karotenoid dengan sebelas ikatan rangkap terkonjugasi dengan gugus ester dan karboksilat pada salah satu ujung rantai terkonjugasinya [5]. Bixin dapat menyerap cahaya pada rentang cahaya tampak dengan panjang gelombang 400-500 nm [6]. Ikatan yang mungkin antara bixin dan semikonduktor TiO₂ dapat terjadi pada gugus karboksilat dan ester dari bixin, sehingga dapat membentuk tipe ikatan seperti ester monodentat, khelat bidentat, *bridging bidentate*, ikatan H, ikatan H ganda, karboksilat, dan monodentat melalui C=O [7]. Struktur *cis*-bixin dapat dilihat dari Gambar 1.



Gambar 1. Struktur *cis*-bixin [8]

Selain itu, anoda juga menjadi komponen yang sangat penting dalam sistem DSSC yang memiliki fungsi utama seperti menyediakan permukaan untuk proses adsorpsi *sensitizer*, berfungsi sebagai akseptor elektron yang berasal dari *sensitizer*, dan berfungsi sebagai penghantar elektron [9]. Anoda yang berasal dari semikonduktor TiO₂ telah banyak digunakan karena memiliki beberapa tipe seperti TiO₂ anatase, TiO₂ rutil, dan TiO₂-P25. Menurut Hanaor *et al.* [10], menyebutkan bahwa TiO₂ anatase memiliki kinerja fotokatalitik yang lebih stabil dibandingkan dengan TiO₂ rutil, hal ini dapat dikaitkan dengan kepadatan yang lebih tinggi akibat adanya radikal hidoksil yang teradsorpsi di permukaan, serta muatan yang lebih lambat mengalami proses rekombinasi dalam fase anatase. Roose *et al.* [11], menyebutkan bahwa TiO₂ rutil memiliki pita konduksi yang lebih rendah dibandingkan dengan anatase, sehingga dapat menyebabkan nilai Voc yang lebih rendah. Selain itu, TiO₂ rutil memiliki kemampuan adsorpsi terhadap *sensitizer* yang rendah, sehingga dapat menghambat transport muatan yang dapat menurunkan nilai Isc.

Rahmalia *et al.* [9], melakukan studi adsorpsi terhadap TiO₂ anatase dibandingkan dengan TiO₂ P-25 terhadap adsorpsinya dengan *sensitizer* bixin, menunjukkan bahwa adsorpsi bixin pada TiO₂ anatase mengikuti model Langmuir, sedangkan untuk adsorpsi bixin pada TiO₂ P-25 mengikuti model Freundlich. Adsorpsi mengikuti model Langmuir memiliki kelebihan, dimana adsorpsi terjadi pada situs permukaan yang homogen dan adsorpsi terjadi secara monolayer. Sedangkan adsorpsi mengikuti model Freundlich, adsorpsi terjadi pada situs permukaan yang heterogen, adsorpsi terjadi secara multilayer dan bersifat *reversible*. *Dye* yang terserap secara monolayer berperan penting untuk menghasilkan efisiensi konversi energi sel DSSC yang lebih tinggi. Oleh karena hal tersebut di atas, penelitian ini

bertujuan untuk membandingkan kinerja sel surya menggunakan TiO₂ anatase dengan TiO₂ P-25 menggunakan bixin sebagai *sensitizer*.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu aseton (CH₃COCH₃, Mallinckrodt Chemicals, 99,8%), etil asetat (C₄H₈O₂, Merck, ≥99,9%), iod (I₂, VWR Chemicals), kalium iodide (KI, Merck), serbuk TiO₂ anatase dan P25, karbon, kaca *transparent conductive oxide* (TCO) dengan jenis *fluorine-doped tin oxide* (FTO) coated TEC-7 *conductive glasses* SOLEM, metanol (CH₃OH, Merck, ≥99,9%), *n*-heksana (C₆H₁₄, Merck, ≥95%), asetil aseton (C₅H₈O₂, Merck, 99%) dan etanol absolut (C₂H₅OH, Merck, ≥99,5%), plat KLT (TLC Silica Gel 60 F₂₅₄, Merck).

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat gelas standar, tanur (Thermolyne), oven (Mettler), evapoporator, *hotplate*, multimeter *scientific* 6,5 digit (Agilent 34461 Å, neraca analitik, lampu Xenon 50 Watt (PRO-LITE), spektrofotometer UV-Vis (SHIMADZU), FTIR (SHIMADZU), *solar power meter* (BTU W/m² Tester Handheld Portable).

Prosedur Kerja

Ekstraksi dan Purifikasi Bixin dari Biji Kesumba

Ekstraksi bixin dari biji kesumba mengadopsi penelitian dari Gómez-Ortiz *et al.* [12] dan Rahmalia *et al.* [13]. Biji kesumba dikeringkan pada suhu 50°C selama 7 jam. Ekstraksi dilakukan dengan mencampurkan 100 g biji kesumba kering dengan 200 mL pelarut etil asetat, di *stirrer* selama 1 jam. Ekstraksi dilakukan hingga warna merah pada biji memudar. Larutan berwarna merah pekat disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan filtrat dan biji kesumba. Selanjutnya larutan hasil ekstraksi di evaporasi pada suhu 40°C hingga diperoleh ekstrak kering. Ekstrak kering yang diperoleh dicuci dengan metanol dan *n*-heksana sambil disaring. Ekstrak kering yang telah dicuci selanjutnya dianalisis menggunakan KLT dengan beberapa variasi eluen *n*-heksana dan etil asetat (9:1), (8:2), (7:3), (6:4), dan (1:1), serta eluen aseton:metanol dengan perbandingan (1:1). Eluen terbaik yang diperoleh kemudian digunakan dalam proses purifikasi.

Purifikasi bixin mengadopsi penelitian Gómez-Ortiz *et al.* [12], menggunakan kolom *flash*

chromatography. Sebanyak 2 g ekstrak kering biji kesumba dilarutkan dalam aseton. Selanjutnya sampel yang telah dilarutkan dicampurkan dengan silika 60-70 *mesh* dan digerus. Proses elusi kolom dilakukan dengan menggunakan eluen *n*-heksana:etil asetat dengan perbandingan (9:1), (8:2), (7:3), (6:4), dan (1:1), dilanjutkan dengan aseton-metanol dengan perbandingan (1:1). Eluen yang dihasilkan selanjutnya ditampung dan dianalisis menggunakan KLT. Eluen yang memiliki nilai R_f yang sama selanjutnya digabungkan dan dievaporasi dan dianalisis menggunakan analisis spektrofotometri UV-Vis dan FTIR.

Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)

Preparasi Kaca TCO (FTO)

Kaca FTO dipotong dengan ukuran (1x1) cm². Kaca dicuci hingga bersih menggunakan sabun dan air mengalir. Selanjutnya, kaca disonikasi dalam campuran air terdeionisasi dan isopropanol (1:1 v/v) selama 1 jam. Kaca FTO selanjutnya dipanaskan pada suhu 450°C selama 30 menit.

Preparasi Anoda

Preparasi anoda dibuat dengan menimbang 2,5 g TiO₂ (anatase dan P-25 secara terpisah). Kedalam masing-masing TiO₂ ditambahkan 16 tetes asetil aseton, 12 tetes triton x-100 dan 20 mL etanol absolut. Selanjutnya, diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada 200 rpm selama 72 jam atau hingga terbentuk pasta.

Preparasi Katoda

Katoda yang digunakan merupakan pasta karbon yang disiapkan dengan menambahkan 640 mg karbon mesopori, 1 mL pasta TiO₂, 1 mL triton x-100 dan 2 mL air demineral. Selanjutnya, campuran menggunakan ultrasonik dengan frekuensi 20 kHz selama 5 menit.

Preparasi Elektrolit

Elektrolit yang digunakan merupakan pasangan redoks (I⁻/I₃⁻). Padatan KI ditimbang sebanyak 404 mg, I₂ sebanyak 261 mg, dan gliserol karbonat asetat sebanyak 551 mg. Selanjutnya, campuran diaduk hingga homogen, larutan elektrolit disimpan dalam botol gelap dan tertutup.

Perakitan DSSC

Kaca FTO dibuat sisi aktif dengan ukuran 0,5 x 1,0 cm dengan menempelkan isolasi bening membentuk pola sisi aktif seperti persegi. Selanjutnya, masing-masing pasta TiO₂ (anatase dan P-25) dideposisi pada permukaan kaca FTO, selanjutnya

dipanaskan pada suhu 500°C selama 1 jam. Pasta katoda karbon dideposisikan di kaca FTO yang berbeda dan dipanaskan pada 250°C selama 1 jam.

Lapisan pasta anoda TiO₂ (anatase dan P-25) direndam dalam larutan *sensitizer* (bixin) dengan konsentrasi 1,33 g/L (dalam pelarut dimetil karbonat) selama 24 jam. Selanjutnya, di atas *sensitizer* ditambahkan 1 tetes elektrolit, lalu ditutup dengan kaca FTO yang telah dideposisikan pasta anoda sehingga membentuk lapisan seperti *sandwich*. Sel yang telah terbentuk dilem dan dijepit.

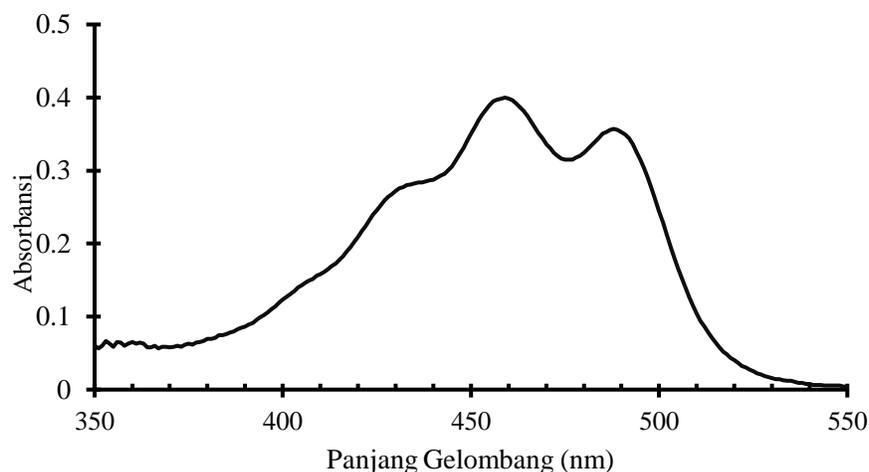
Uji Kinerja DSSC

Uji kinerja DSSC dilakukan menggunakan lampu Xenon 50 watt (PRO-LITE) dan intensitas cahaya diukur menggunakan *solarmeter* multimetrix SPM72. *Open-circuit voltage* (Voc), dan *short-circuit current* (Isc) diukur pada intensitas 0-1000 W/m² (dengan mengabaikan pengaruh suhu).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Bixin

Bixin yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada rentang panjang gelombang 300-650 nm. Spektrum UV-Vis dari bixin dapat dilihat pada Gambar 1.

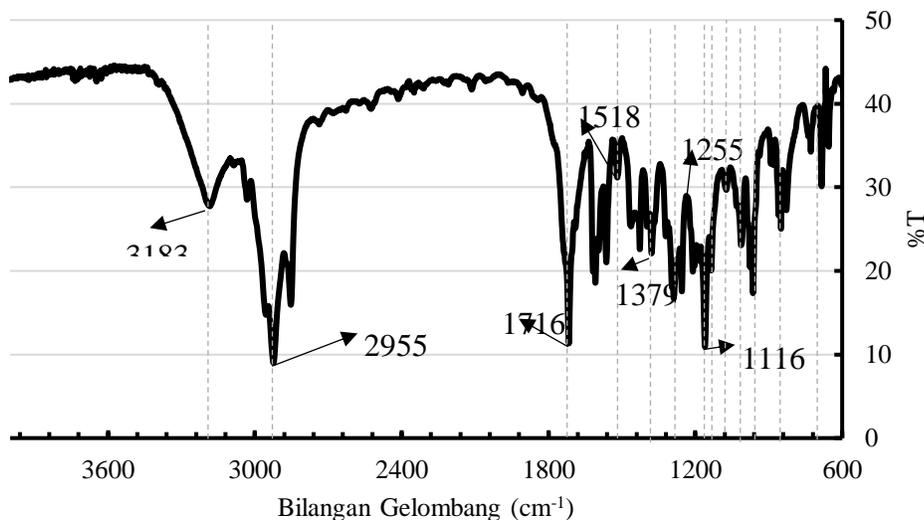


Gambar 1. Spektrum Serapan Bixin dalam Pelarut Aseton

Gambar 1 menunjukkan adanya 3 puncak serapan untuk bixin yang dihasilkan dalam pelarut aseton yaitu pada 488, 459, dan 430 nm. Spektrum serapan yang berada direntang panjang gelombang di atas 400 nm dapat dipengaruhi adanya ikatan rangkap terkonjugasi yang berperan dalam proses penyerapan cahaya oleh gugus kromofor dan menghasilkan warna. Bixin memiliki ikatan rangkap terkonjugasi (C=C) dan gugus karbonil (C=O) dapat memberikan serapan direntang panjang gelombang sinar tampak. Puncak serapan pada panjang gelombang 488 nm menunjukkan adanya transisi elektron dari π ke π^* , 459 nm terjadi transisi elektron dari π ke π^* , dan pada 430 nm terjadi transisi elektron dari n ke π^* yang berasal

dari gugus karbonil (C=O). Transisi elektron ini bersesuaian dengan tingkatan energi, dimana transisi elektron dari π ke π^* , memiliki energi yang paling rendah, sedangkan transisi elektron dari n ke π^* , memiliki energi yang lebih tinggi [14]. Puncak serapan bixin yang dihasilkan sesuai dengan penelitian Rahmalia *et al.* [13], dimana serapan maksimum bixin dengan pelarut aseton terdapat tiga puncak utama yaitu pada 487 nm, 457 nm, dan 429 nm.

Karakteristik bixin juga diamati menggunakan analisis FTIR. Spektrum FTIR dapat mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada senyawa bixin dengan intensitas serapan yang terjadi. Spektrum FTIR untuk senyawa bixin, diamati pada Gambar 2.



Gambar 2. Spektrum FTIR Bixin

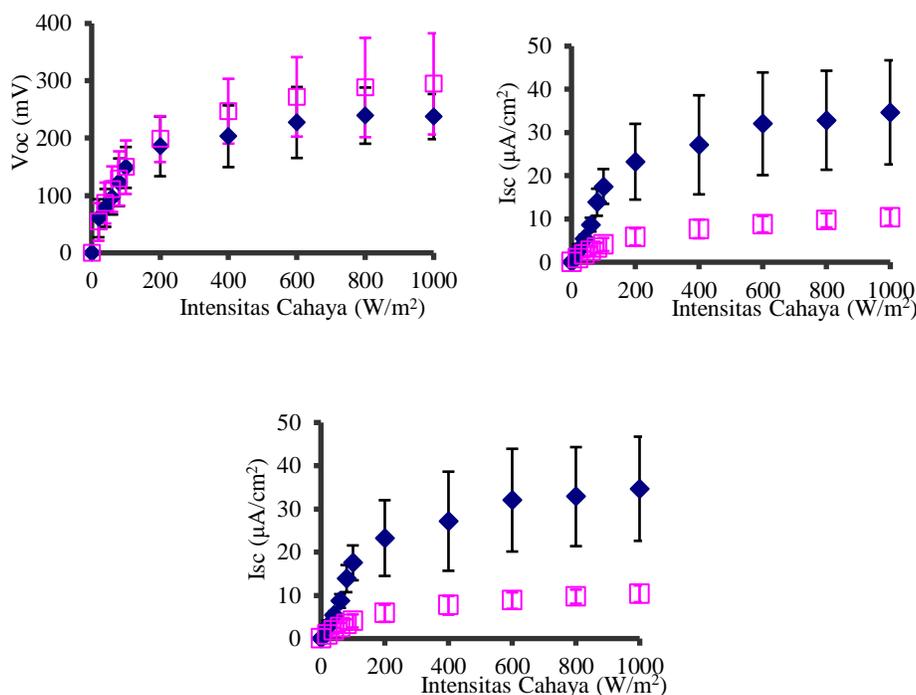
Gambar 2. menunjukkan adanya serapan bixin pada bilangan gelombang 3183 cm^{-1} mengindikasikan vibrasi regangan -OH yang berasal dari gugus fungsi karboksilat, pada 2955 cm^{-1} ; 2924 cm^{-1} ; 2852 cm^{-1} vibrasi regang H-C-H , pada 1716 cm^{-1} vibrasi renggang C=O , pada 1608 cm^{-1} vibrasi tekuk O-H , pada 1563 cm^{-1} dan 1518 cm^{-1} vibrasi renggang C=C (alkena), pada 1379 cm^{-1} vibrasi tekuk C-H , pada 1255 cm^{-1} vibrasi renggang C-O , pada 1161 cm^{-1} vibrasi simetri dan asimetri C-O-C (kelompok ester), pada 1012 cm^{-1} vibrasi renggang C-H . Hasil analisis FTIR bixin ini sesuai dengan penelitian Rahmalia *et al.* [13].

Parameter Kinerja Sel Surya Tersensitasi Bixin

Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai V_{oc} dan I_{sc} meningkat seiring dengan meningkatnya intensitas cahaya. Secara umum, nilai V_{oc} dari DSSC yang menggunakan TiO_2 -anatase sedikit lebih rendah jika dibandingkan dengan DSSC yang menggunakan TiO_2 -P25. Namun demikian, nilai I_{sc} yang dihasilkan dari DSSC yang menggunakan TiO_2 -anatase lebih tinggi dibandingkan dengan DSSC yang menggunakan TiO_2 -P25. Hasil pengukuran parameter dari masing-masing

sel surya ini memiliki hubungan dengan hasil karakteristik adsorpsi dari bixin pada TiO_2 anatase dan TiO_2 P-25 yang berbeda. Penelitian Rahmalia *et al.* [9], melaporkan bahwa adsorpsi bixin pada TiO_2 anatase mengikuti model Langmuir ($q_m = 13,0\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, $r^2 = 0,98$), sedangkan untuk adsorpsi bixin pada TiO_2 P-25 mengikuti model Freundlich ($K_f = 37,9\text{ mg}^{0,13}\text{L}^{0,87}\text{g}^{-1}$, $r^2 = 0,92$).

Adsorpsi yang mengikuti mode Langmuir memiliki keuntungan, dimana adsorpsi terjadi pada situs permukaan yang homogen dan adsorpsi terjadi secara monolayer, sedangkan adsorpsi yang mengikuti model Freundlich, adsorpsi terjadi pada situs permukaan yang heterogen, adsorpsi terjadi secara multilayer dan bersifat *reversible*. *Dye* yang terserap secara *monolayer* berperan penting untuk menghasilkan efisiensi konversi maksimum sel surya yang lebih tinggi. Lee *et al.* [15], melaporkan bahwa peningkatan I_{sc} berbanding lurus dengan peningkatan *dye* yang teradsorpsi di lapisan tunggal (*monolayer*) dari TiO_2 seiring dengan lamanya waktu adsorpsi, tetapi peningkatan adsorpsi *dye* pada permukaan *monolayer* ini hampir tidak mempengaruhi V_{oc} .



Gambar 3. Parameter Sel Surya dengan Jenis TiO₂ Anatase (Biru), TiO₂-P25 (Pink)

Berdasarkan Gambar 3, DSSC yang menggunakan TiO₂-anatase memiliki efisiensi konversi energi maksimum yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan DSSC yang menggunakan TiO₂-P25. Meskipun luas permukaan dari lapisan TiO₂ sangat mempengaruhi konversi energi foton menjadi listrik, dengan meningkatnya penyerapan cahaya oleh *dye*, maka adsorpsi secara kimia pada *single-layer* akan sangat mempengaruhi untuk peningkatan efisiensi konversi energi maksimum yang lebih tinggi. DSSC yang menggunakan TiO₂-anatase dan TiO₂-P25 menunjukkan efisiensi konversi energi maksimum tertinggi pada intensitas cahaya 100 W/m² masing-masing sebesar (0,027±0,012)% dan (0,006±0,001)%. Salah satu parameter lain yang dapat mempengaruhi kinerja dari sel surya adalah suhu. Peningkatan suhu pada proses pencahayaan akan menyebabkan penurunan nilai Voc dan Isc, serta menyebabkan penurunan efisiensi konversi energi dari sel.

KESIMPULAN

Hasil analisis bixin menggunakan spektrofotometer UV-Vis menghasilkan 3 puncak karakteristik yaitu pada 488, 459, 430 nm. Spektra FTIR bixin ditandai dengan adanya serapan bixin pada bilangan gelombang 3183 cm⁻¹ mengindikasikan vibrasi renggang -OH yang berasal dari gugus karboksilat, pada 2955 cm⁻¹; 2924 cm⁻¹; dan 2852 cm⁻¹ vibrasi renggang H-C-H, pada 1716 cm⁻¹ vibrasi renggang C=O, pada 1608 cm⁻¹ vibrasi tekuk O-H, pada 1563 cm⁻¹ dan 1518 cm⁻¹ vibrasi renggang C=C (alkena), pada 1379 cm⁻¹ vibrasi tekuk C-H, pada 1255 cm⁻¹ vibrasi renggang C-O, pada 1161 cm⁻¹ vibrasi simetri dan asimetri C-O-C (kelompok ester), pada 1012 cm⁻¹ vibrasi renggang C-HTiO₂-anatase/Bx/KI-I₂+GKS/C menghasilkan efisiensi konversi energi maksimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan TiO₂-P25/Bx/KI-I₂+GKS/C masing-masing sebesar (0,027±0,012)% dan (0,006±0,001)%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional; dan *Community, Development and Outreaching* Universitas Tanjungpura yang telah memberikan bantuan dana dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Setiadji, A.L. Ivansyah, B.I. Akbar, 2015, Studi Komputasi Senyawa Dopamin dan Dopamin-Ti(OH)₂ untuk Aplikasi Sel Surya Tersensitasi Zat Warna, *Jurnal Kajian Islam, Sains dan Teknologi*, vol. 2, pp. 205-221.
- [2] M. Grätzel, 2003, Review: Dye-sensitized solar cells, *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, vol. 4, no. 2003, pp. 145-153. doi:10.1016/S1389-5567(03)00026-1.
- [3] H.D. Fahyuan, Samsidar, F. Farid, *et al.*, 2015, Disain Prototipe Sel Surya DSSC (Dye Sensitized Solar Cell) Lapisan Grafit/TiO₂ Berbasis Dye Alami, *JoP*, vol. 1, no. 1.
- [4] J. Gong, K. Sumathy, Q. Qiao, *et al.*, 2017, Review on Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs): Advanced Techniques and Research Trends, *Elsevier: Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68: 234-246
- [5] P. Giridhar, A. Venugopalan, R. Parimalan, 2014, A Review on Annatto Dye Extraction, Analysis and Processing-A Food Technology Perspective, *Journal of Scientific Research and Reports*, vol. 3, no. 2, pp. 327-348.
- [6] N. Mezzomo and S. R. S. Ferreira, 2016, Carotenoids Functionality, Sources, and Processing by Supercritical Technology: A Review, *Hindawi Publishing Corporation Journal of Chemistry*, pp. 1-16, doi: 10.1155/2016/3164312.
- [7] H. Hug, M. Bader, P. Mair and T. Glatzel, 2014, Biophotovoltaics: Natural pigments in dye-sensitized solar cells, *Elsevier: Applied Energy*, vol. 115, no. 2014, pp. 216-225, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.055>.
- [8] V. M. Dias, V. Pilla, L. P. Alves, H. P. M. *et al.*, 2011, Optical Characterization in Annatto and Commercial Colorific, *Journal Fluoresc*, vol. 2011, no. 21, pp. 415-421, doi: 10.1007/s10895-010-0730-1.
- [9] W. Rahmalia, J. F. Fabre, T. Usman, *et al.*, 2016, Bixin Adsorption Characteristic on TiO₂, *Proceedings on The IRES 28th International Conference*, 6th February 2016, Jakarta, Indonesia.
- [10] D. A. Hanaor, C. Charles and Sorrell, 2010, Review of the anatase to rutile phase transformation, *Journal Material Science*, vol. 46, no. 2011, pp. 855-874, doi: 10.1007/s10853-010-5113-0
- [11] B. Roose, S. Pathak and U. Steiner, 2015, Doping of TiO₂ for sensitized solar cells, *Royal Society of Chemistry*.
- [12] N. M. Gomez-Ortiz, L. A. Vazquez-Maldonado, A. R. Perez-Espadas, *et al.*, 2010, Dye-Sensitized Solar Cells with Natural Dyes Extracted from Achiote Seeds, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, vol. 94, pp. 40-44, doi: 10.1016/j.solmat.2009.05.013.
- [13] W. Rahmalia, J. F. Fabre, Z. Mouloungui, 2015, Effects of Cyclohexane/Aceton Ratio on Bixin Extraction Yield by Accelerated Solvent Extraction Method, *Elsevier*, vol. 14, pp. 455-463, doi: 10.1016/j.proche.2015.03.061.
- [14] Sudjadi, 1983, *Penentuan Struktur Senyawa Organik*, Ghalia Indonesia: Jakarta Timur.
- [15] C. R. Lee, H. S. Kim, I. H. Jang, *et al.*, 2011, Pseudo First-Order Adsorption Kinetics of N719 Dye on TiO₂ Surface, *ACS Applied Materials and Interfaces*, vol. 3, no. 2011, pp: 1953-1957, doi: dx.doi.org/10.1021/am200169