

## Potensi Pengembangan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dengan Sensitizer Zat Warna Alami dari Tumbuhan Asal Papua sebagai Alternatif Solusi Krisis Energi dan Pemanasan Global

Agnes Dyah Novitasari Lestari  
Jurusan Kimia, Universitas Negeri Papua  
Jl. Gunung salju Amban, Manokwari  
Email: a.dyahnovitasari@yahoo.com

### Abstrak

Saat ini, krisis energi dan pemanasan global merupakan permasalahan penting dunia internasional, termasuk Papua. Berbagai upaya dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut, salah satunya pengembangan energi alternatif yang tidak menyebabkan pemanasan global, yaitu energi surya yang dipanen melalui perangkat sel surya (solar sel). Terdapat kendala aplikasi sel surya, yaitu biaya produksi yang tinggi. Masalah ini teratasi dengan ditemukannya suatu jenis sel surya, yaitu sel surya yang tersensitisasi oleh zat warna (*Dye sensitized solar cell*/DSSC). Pemanfaatan potensi lokal akan mereduksi biaya fabrikasi suatu perangkat. Papua terkenal dengan keanekaragaman dan kelimpahan floranya, salah satunya adalah tumbuhan penghasil zat warna alami. Warna yang dihasilkan oleh tumbuhan tersebut menunjukkan kandungan senyawa yang memiliki gugus yang dapat menyerap cahaya (kromofor) yang terkandung di dalamnya. Kandungan senyawa berkromofor ini memberikan potensi zat warna tersebut dapat digunakan sebagai sensitizer dalam DSSC, sehingga dihasilkan DSSC yang relatif murah bagi Papua.

**Kata kunci:** DSSC, Zat warna alami, Sensitizer, Papua

### Abstract

Currently, the energy crisis and global warming are an important issue internationally, including Papua. Various attempts were made to overcome these problems, for instance the development of alternative energy that does not cause global warming: the solar energy harvested by the solar cells (solar cells). There is an obstacle for solar cell applications: the high production costs. This problem is solved by the discovery of a type of solar cell *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC).

Utilization of local potential will reduce the cost of fabricating such a device. Papua is well know for its flora abundance and diversity, one of which is a natural dye-producing plants. Color produced by these plants show content that has a group of compounds that can absorb light (chromophore) contained therein. The content of this chromophore compounds provide potential it can be used as a sensitizer in DSSC, thus resulting DSSC that is relatively cheap for Papua.

**Keyword:** DSSC, natural dye, sensitizer, Papua

## 1. PENDAHULUAN

Masalah krisis energi dan pemanasan global semakin meningkat akhir-akhir ini, termasuk di Papua. Perlu diupayakan penggunaan energi alternatif yang tidak menghasilkan gas rumah kaca penyebab pemanasan global. Energi surya yang dipanen melalui perangkat sel surya sangat berpotensi dalam hal ini.

Energi dari sel surya merupakan energi terbarukan, ramah lingkungan, serta tidak menyebabkan pemanasan global (Gong, *et.al.*, 2012). Namun demikian, terdapat kendala dalam aplikasi sel surya, yaitu tingginya biaya infrastruktur awal. Hal ini dapat diatasi sejak ditemukannya sel surya tersensitisasi zat warna (*Dye sensitized solar cell*/DSSC) (O'Regan dan Gratzel, 1991). Sel surya DSSC lebih murah, namun apabila zat warna yang digunakan merupakan zat warna sintetik, maka berpotensi

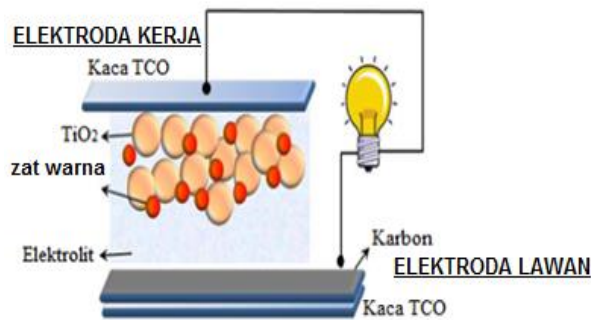
mencemari lingkungan. Penggunaan produk alami sebagai sensitizer dalam DSSC memungkinkan produksi yang lebih cepat, sederhana, murah dan ramah lingkungan [1]. Hal ini akan semakin diperkuat apabila zat warna tersebut berasal dari potensi lokal.

Keanekaragaman hayati di Papua sudah terkenal di seluruh dunia, salah satunya adalah tanaman penghasil zat warna alami [2],[3]. Zat warna ini berpotensi sebagai sensitizer dalam fabrikasi DSSC oleh kandungan senyawa-senyawa kromofor yang dapat menyerap sinar tampak/visibel dari sinar matahari.

## 2. KOMPONEN DAN MEKANISME KERJA DSSC

Pada tahun 1991, Gratzel *et al* memperkenalkan DSSC, suatu tipe sel surya baru yang mengkonversikan cahaya visibel menjadi energi listrik berdasarkan sensitisasi dari

semikonduktor bercelah pita lebar [5]. Perangkat DSSC terdiri atas suatu semikonduktor nanokristalin berpori yang menyerap zat warna, suatu elektroda lawan, dan suatu elektrolit yang mengandung ion iodide dan triiodida [6].

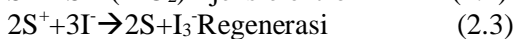
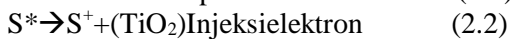


Gambar 2.1 Struktur DSSC [7]

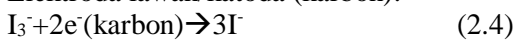
Secara sederhana, komponen dalam DSSC diilustrasikan pada gambar 2.1.

Siklus operasi DSSC dapat diringkaskan dalam terminologi reaksi kimia sebagai berikut [8]:

Elektroda kerja/anoda (kaca TCO +  $\text{TiO}_2$  + zat warna):



Elektroda lawan/katoda (karbon):



Sel:



### 3. SENSITIZER

Dalam DSSC, zat warna sebagai sensitizer memegang peranan kunci dalam menyerap cahaya matahari dan mentransformasi energi matahari menjadi energi listrik [9]. Berbagai kompleks logam dan zat warna organik telah disintesis dan digunakan sebagai sensitizer. Suatu sensitier yang efektif harus memenuhi persyaratan tertentu, seperti [10]:

- Absorpsi yang intens di daerah visibel
- Absorpsi yang kuat pada permukaan semikonduktor.
- Injeksi elektron yang efisien ke dalam pita konduksi dari semikonduktor
- Sebaiknya memiliki beberapa gugus O atau –OH yang mampu mengkelat pada situs Ti(IV) sites dari permukaan  $\text{TiO}_2$ .

Zat warna sebagai sensitizer dalam DSSC dapat berasal dari zat warna sintetis maupun zat warna lokal. Zat warna sintetis yang banyak digunakan berasal dari kompleks logam (biasanya ruthenium) maupun dari suatu senyawa

organik sintetis. Sejauh ini, efisiensi tertinggi dari DSSC yang tersensitisasi oleh senyawa kompleks ruthenium yang terabsorb pada  $\text{TiO}_2$  nanokristalin mencapai 11-12% [11]. Walaupun DSSC dengan zat warna sintetis tersebut menghasilkan efisiensi yang tinggi, namun terdapat kekurangan dari penggunaan logam-logam jarang (*rare metals*) dimana ketersediaannya terbatas dan produksinya mahal. Zat warna organik sintetis memang lebih murah dari zat warna kompleks logam ruthenium, namun biaya produksinya masih tergolong tinggi yang disebabkan oleh rute sintesis yang rumit dan rendemen yang rendah [12]. Selain itu, zat warna sintetis ini berpotensi mencemari lingkungan. Hal ini mendorong penggunaan zat warna alami yang dapat diekstrak dengan prosedur yang sederhana dari berbagai bunga, daun, dan buah.

Beberapa zat warna alami yang memenuhi persyaratan sebagai sensitizer antara lain senyawa karotenoid, flavonoid dan antosianin [6]. Yamazaki *et al.*, [13] telah melakukan penelitian penggunaan zat warna karotenoid alami dari crocetin (8,80-diapocarotenedioic acid) and crocin (crocetin-di-gentiobioside) sebagai sensitizer DSSC. Crocetin menunjukkan performance yang lebih baik daripada crocin karena mengandung gugus karboksil.

Zhou, *et al.* [14] telah mengekstrak 20 zat warna alami yang mengandung klorofil, karoten, sianin, dari bunga, daun, buah, obat cina, dan menggunakannya sebagai sensitizer untuk membuat DSSC dengan elektroda  $\text{TiO}_2$  dan platina. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa *open circuit voltages* ( $V_{oc}$ ) berkisar dari 0,337 sampai 0,689 V, dan densitas *short circuit photocurrent* ( $J_{sc}$ ) berkisar dari 0,14 hingga  $2,69 \text{ mA cm}^{-2}$ .

Gómez-Ortiz, *et al.*, [15] telah menerapkan zat warna alami ekstrak etil asetat dari biji achiote shrub (*Bixa orellana* L.) yang mengandung suatu karoten bernama bixin dalam DSSC. Sebagian Bixin disaponifikasi menghasilkan norbixin. Selanjutnya bixin dan norbixin diuji kemampuannya sebagai sensitizer menggunakan DSSC  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{ZnO}$  nanostruktur. Hasil terbaik didapatkan pada  $\text{TiO}_2$  yang tersensitisasi oleh Bixin, dengan efisiensi 0,53%.

Furukawa, *et al.* [16] melaporkan bahwa *cost performance* (didefinisikan sebagai [efisiensi konversi]/[harga zat warna]) dari DSSC dengan sensitizer ekstrak kubis merah lebih besar 50 kali

daripada DSSC dengan sensitizer kompleks rutenium pada semikonduktor TiO<sub>2</sub> nanopartikel.

Patrocínio, *et.al.*, [17], menyatakan bahwa DSSC merupakan salah satu dari divais yang paling menjanjikan untuk konversi energi surya karena biaya produksi yang rendah dan dampak lingkungan yang rendah, terutama yang tersensitisasi oleh zat warna alami. Efisiensi dan stabilitas divais yang tersensitisasi oleh zat warna alami seperti mulberry (*Morus alba* Lam), blueberry (*Vaccinium myrtillus* Lam), dan jaboticaba's skin (*Mirtus cauliflora* Mart) telah diselidiki. Sel DSSC dengan photoanoda TiO<sub>2</sub> dan elektroda lawan Pt-terlapiskan pada FTO tersensitisasi ekstrak air dari mulberry tanpa purifikasi dan pengaturan pH tetap stabil hingga 36 minggu dengan efisiensi yang baik.

#### 4. ZAT WARNA DAN ALAMI ASAL PAPUA

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mendokumentasikan tumbuhan penghasil zat warna alami yang berasal dari Papua walaupun masih terbatas oleh karena luasnya wilayah Papua. Di Kabupaten Wondama terdapat buah hitam (*Haplolobus spp.*) yang menghasilkan warna hitam pekat dari kulitnya [18]. Buah hitam juga terdapat di Pulau Yapen dan Numfor serta di wilayah distrik Yaur, Kabupaten Nabire [19].

Harbelubun, *et al.* [20] melaporkan beberapa tumbuhan pewarna alami yang digunakan oleh Suku Marori Men-Gey di Taman Nasional Wasur Kabupaten Merauke. Tumbuhan-tumbuhan tersebut adalah gaglap (*Vaccinium sp.*), gidu (*Morinda citrifolia* L), kunyit (*Curcuma domestica* Val), mangga (*Mangifera indica* L), telil (*Ziziphus sp.*), Marka begimu (*Gmelina sp.*), dan worof (*Zyzygium sp.*)

Suku Meyah di Desa Yoom Nuni, Manokwari telah lama memanfaatkan beberapa tanaman penghasil zat warna alami dalam kehidupan sehari-hari. Tanaman tersebut adalah Kasubra (*Bixa orellana* L.), Monggunyek (*Mucuna utilis* Wal.), kunyit (*Curcuma domestica* Vall.), Momedes (*Melastoma Polyanthum* BL), Monggek (*Elaeocarpus sp.*), Motwei (*Elastotema sp.*), Sukun (*Artocarpus communis*), Lingoa (*Pterocarpus indicus*), dan berbagai kultivar buah merah (*Pandanus conoudeus* Lamk) [21].

Untuk buah merah, daerah penyebaran buah merah di Papua cukup luas, meliputi lembah Baliem Wamena, Tolikara, Pegunungan Bintang, Yahukimo, Jayapura, daerah sekitar kepala burung (Sorong dan Manokwari), dan beberapa

daerah pedalaman [22]. Warna dari buah merah berasal dari kandungan senyawa karotenoid. Surono, *et al.* (2006) dalam Limbongan dan Malik, 2009 [22] melaporkan bahwa ekstrak buah merah mengandung beta-karoten dan alfa-karoten. Senyawa ini mengandung gugus kromofor berupa ikatan rangkap terkonjugasi yang dapat menyerap sinar visibel sehingga berpotensi sebagai sensitizer dalam DSSC. Zat warna alami yang lain memiliki jenis gugus kromofornya sendiri, baik yang disebabkan oleh adanya ikatan pi (termasuk ikatan rangkap terkonjugasi) saja maupun ikatan pi yang berasosiasi dengan atom yang memiliki orbital non-ikatan (pasangan elektron bebas).

#### 5. METODE FABRIKASI DAN PENGUJIAN DSSC SEDERHANA TERSESENSITISASI ZAT WARNA ALAMI

Salah satu metode dalam fabrikasi dan pengujian DSSC sederhana tersensitisasi zat warna alami dapat dilakukan dengan tahapan sebagai berikut [4]: Pertama-tama dilakukan preparasi elektroda, sensitizer dan elektrolit untuk DSSC. Elektroda Kerja dibuat dari pendepositan TiO<sub>2</sub> yang direndam dalam larutan zat warna dari ekstrak buah merah dan buah hitam pada kaca TCO (*Transparent Conductive Oxide*), elektroda lawan berupa karbon dari pencil 2B yang didepositkan pada kaca TCO, sensitizer berupa ekstrak zat warna dengan pelarut campuran 42 mL aquades, 50 mL metanol 95%, dan 8 mL asam asetat p.a, sedangkan elektrolit berupa sistem redoks I<sup>-</sup>/I<sub>3</sub><sup>-</sup> dalam polimer PEG (polietilen glikol). Setelah itu, dilakukan preparasi dan pengujian arus dan tegangan yang dihasilkan DSSC tersensitisasi ekstrak zat warna alami. Variabel yang divariasi adalah waktu perendaman elektroda kerja dalam larutan zat warna alami. Pengukuran serapan dari ekstrak zat warna alami dapat dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui panjang gelombang maksimumnya. Metode ini cukup sederhana untuk dilakukan, namun memberikan peluang yang menjanjikan untuk perancangan suatu piranti pengkonversi energi surya yang murah namun efektif dan ramah lingkungan, terutama bagi daerah penghasil zat warna alami tersebut.

#### 6. KESIMPULAN

DSSC dengan sensitizer zat warna alami merupakan sumber energi terbarukan, ramah lingkungan, relatif murah, serta tidak

menyebabkan pemanasan global. Dalam DSSC, zat warna sebagai sensitizer memegang peranan kunci dalam menyerap cahaya matahari dan mentransformasi energi matahari menjadi energi listrik. Papua memiliki kelimpahan zat warna alami yang dapat digunakan sebagai sensitizer dalam DSSC. Hal ini akan menekan biaya fabrikasi DSSC, sehingga dapat menjadi alternatif solusi krisis energi dan pemanasan global yang relatif murah di Papua.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aduloju, K. A. (2011). Khaya senegalensis and Solanum melongena Linn. as natural sensitizers for dye-sensitized solar cells, *3*(6), 61–67.
- [2] Makabori, S., 1999, Teknik Silvikultur Jenis-jenis Tanaman Penghasil Zat Warna Alam di Irian Jaya. Makalah Seminar “Menggali Potensi Warna Alam Irian Jaya”, Departemen Kehutanan dan Perkebunan Kantor Wilayah Propinsi Irian Jaya.
- [3] Maturbongs, R.A., dan Sadsoeitoeboen, M., J., 1999, Keanekaragaman Tumbuhan Penghasil Bahan Pewarna di Propinsi Irian Jaya. Makalah Seminar Keanekaragaman Bahan Pewarna Alami Irian Jaya di Jayapura
- [4] Ningsih, R., Hastuti, E., 2013, Karakterisasi Ekstrak Teh Hitam Dan Tinta Cumi-Cumi Sebagai Fotosensitiser Pada Sel Surya Berbasis Pewarna Tersensitisasi, [http://repository.uin-malang.ac.id/34/1/Ningsih\\_sel%20surya.pdf](http://repository.uin-malang.ac.id/34/1/Ningsih_sel%20surya.pdf) yang diakses tanggal 1 Desember 2013-12-12
- [5] O'Regan, B., Gratzel, M., 1991, A low-cost, high-efficiency solar cell based on dyesensitized colloidal TiO<sub>2</sub> films, *Nature*, 353, 737–740.
- [6] Narayan, M.R., 2012, Review: Dye sensitized solar cells based on natural photosensitizers, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 208–215
- [7] Susmiyanto, D., Wibowo, N.A., Sutresno, A., 2013, Fabrikasi Sel Surya Pewarna Tersensitisasi (Sspt) dengan Memanfaatkan Ekstrak Antosianin Ubi Jalar Ungu (*Ipomoea batatas L*), *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Pendidikan Sains VIII, Fakultas Sains dan Matematika, UKSW, Salatiga, 15 Juni 2013, Vol 4, No.1, ISSN:2087-0922*
- [8] Matthews D, Infelta P, Grätzel M., 1996, Calculation of the photocurrent-potential characteristic for regenerative, sensitized semiconductor electrodes, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 44:119–55.
- [9] Gong, J., Liang, J., Sumathy, K., 2012, Review on dye-sensitized solar cells(DSSCs): Fundamental concepts and novel materials, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 5848–5860
- [10] Smestad, G.P., 1998, Education and solar conversion: demonstrating electron transfer. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 55:157–78.
- [11] Chiba, Y., Islam, A., Watanabe, Y., Komiyama, R., Koide, N., Han, L.Y., 2006, Dye-sensitized solar cells with conversion efficiency of 11.1%, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 45, L638–L40.
- [12] Buscaino, R., Baiocchi, C., Barolo, C., Medana, C., Gratzel, M., Nazeeruddin, Md.K., Viscardi, G., 2008, A mass spectrometric analysis of sensitized solution used for dyesensitized solar cell, *Inorg. Chim. Acta*, 361, 798–805.
- [13] Yamazaki, E., Murayama, M., Nishikawa, N., Hashimoto, N., Shoyama, M., & Kurita, O., 2007, Utilization of natural carotenoids as photosensitizers for dye-sensitized solar cells. *Solar Energy*, 81, 4, 512–516. doi:10.1016/j.solener.2006.08.003
- [14] Zhou, H., Wu, L., Gao, Y., Ma, T., 2011, Dye-sensitized solar cells using 20 natural dyes as sensitizers, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 219, 188–194
- [15] Gómez-Ortiz, N.M., Va'zquez-Maldonado, I.A., Pe' rez-Espadas, A.R., Mena-Rejo'n, G.J., Azamar-Barrios, J.A., Oskam, G., 2010, Dye-sensitized solar cells with natural dyes extracted from achiote seeds, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 4, 40–44
- [16] Furukawa, S., Iino, H., Iwamoto, T., Kukita, K., Yamauchi, S., 2009, Characteristics of dye-sensitized solar cells using natural dye, *Thin Solid Films*, 518, 526–529
- [17] Patrocínio, A.O.T., Mizoguchi, S.K., Paterno, L.G., Garcia, C.G., Murakami, N.Y., 2009, Efficient and low cost devices for solar energy conversion: Efficiency and stability of some natural-dye-sensitized solar cells, *Synthetic Metals*, 159, 2342–2344
- [18] Ungirwalu, A., 2011, Konstruksi Kearifan Lokal Etnis Wandamen-Papua dalam Pemanfaatan Buah Hitam (*Haplolobus monticola*), *Tesis, Program Studi Ilmu Kehutanan, Jurusan Manajemen Kehutanan, Program Pasca Sarjana Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta*
- [19] Sirami, E. V. 2010. Pohon Buah Hitam (*Haplolobus spp.*) Keistimewaannya bagi Masyarakat Kabupaten Teluk Wondama. *Warta Konservasi Lahan Basah Vol.18 No.2.*
- [20] Harbelubun, A.E., Kesaulija, E.M., Rahawarin, Y.Y., 2005, *BIODIVERSITAS*, 282, 4,281-284
- [21] Sutarno, S., 2001, Tumbuhan Penghasil Warna Alami dan Pemanfaatannya dalam Kehidupan Suku Meyah di Desa Yoom Nuni, Manokwari, *skripsi, Jurusan Kehutanan, Universitas Negeri Cendrawasih, Manokwari*
- [22] Limbongan, J., Malik, A., 2009, Peluang Pengembangan Buah Merah (*Pandanus conoideus* Lamk.) di Provinsi Papua, *Jurnal Litbang Pertanian*, 28(4), 134-141