Sel Surya Berbasis Pewarna Alami dan Potensi Pengembangannya di Indonesia sebagai Sumber Energi Alternatif yang Ramah Lingkungan.

I Nyoman Setiawan, Ida Ayu Dwi Giriantari, W.Gede Ariastina, I Nyoman Satya Kumara
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Bali
e-mail: man_awan@yahoo.com

Abstrak— Energi matahari merupakan energi terbarukan yang tersedia melimpah di bumi. Berbagai jenis perangkat fotovoltaik (PV) seperti sel organik, anorganik, dan hibrida telah dikembangkan untuk memanfaatkan energi matahari. Sel surya berbasis silikon (sel anorganik) telah banyak digunakan namun biaya produksinya tinggi. *Dye Sensitized Solar Cell* (sel organik) telah mendapatkan perhatian yang cukup besar di bidang energi surya karena fabrikasinya sederhana, efisiensi yang baik, dan biaya produksi yang rendah. Penggunaan pewarna alami dalam sel surya merupakan pengembangan yang menjanjikan untuk teknologi ini, karena ramah lingkungan, tidak beracun dan murah. Banyak jenis pigmen, seperti antosianin, karotenoid, klorofil, dan betalain, yang diambil dari berbagai komponen tanaman, seperti daun, buah, bunga, kulit, dan akar, telah diuji sebagai *sensitizer*. Makalah ini menyoroti dan membahas perkembangan pewarna alami sebagai *sensitizer* dan pengembangannya di Indonesia.

Kata kunci- sel surya; *dye-sensitized solar cell*; pewarna alami

Abstract— Solar energy is a renewable energy that are abundant in the earth. Various types of devices photovoltaic (PV) such as organic cells, inorganic, and hybrid has been developed to harness solar energy. Silicon-based solar cells (cell inorganic) has been widely used but high production costs. *Dye Sensitized Solar Cell* (cell organic) have gained considerable attention in the field of solar energy as simple fabrication, good efficiency, and low production costs. The use of natural dyes in solar cells is a promising development for this technology, because environmentally friendly, non-toxic and inexpensive. Many types of pigments, such as anthocyanins, carotenoids, chlorophyll, and betalain, taken from various parts of plants, such as leaves, fruits, flowers, bark, and roots, has been tested as a sensitizer. This paper highlights and discusses the development of a natural dye as a sensitizer and development in Indonesia

Keywords- solar cell; *dye sensitized solar cell*; natural dyes.

I. PENDAHULUAN

Sel Surya merupakan pembangkit listrik yang mampu mengkonversi sinar matahari menjadi arus listrik. Energi matahari merupakan sumber energi yang paling menjanjikan karena jumlahnya sangat besar dan berkelanjutan (*sustainable*). Matahari merupakan sumber energi yang diharapkan mampu mengatasi permasalahan kebutuhan energi, setelah berbagai sumber energi konvensional berkurang jumlahnya serta tidak ramah lingkungan. Jumlah energi sinar matahari yang begitu besar, membuat sel surya menjadi alternatif sumber energi masa depan yang sangat menjanjikan. Sel surya juga memiliki kelebihan seperti dapat dipasang secara modular di setiap lokasi sehingga tidak membutuhkan transmisi. Berbagai teknologi telah dikembangkan dalam proses pembuatan sel surya untuk menurunkan harga produksi agar lebih ekonomis. Hingga saat ini terdapat beberapa jenis sel surya yang berhasil dikembangkan oleh para peneliti untuk mendapatkan divais sel surya yang memiliki efisiensi yang tinggi, murah dan mudah dalam pembuatannya. Tipe pertama yang berhasil dikembangkan adalah jenis wafer (berlapis) silikon kristal tunggal. Tipe ini dalam perkembangannya

mampu menghasilkan efisiensi yang sangat tinggi. Masalah terbesar yang dihadapi dalam pengembangan silikon kristal tunggal untuk dapat diproduksi secara komersial adalah harga yang sangat tinggi. Sehingga panel sel surya yang dihasilkan menjadi tidak efisien sebagai sumber energi alternatif. Jenis sel surya yang kedua adalah tipe wafer silikon poli kristal. Saat ini, hampir sebagian besar panel sel surya yang beredar di pasar komersial berasal dari *screen printing* jenis silikon poli kristal. Wafer silikon poli kristal dibuat dengan cara membuat lapisan-lapisan tipis dari batang silikon. Jenis sel surya tipe ini memiliki harga pembuatan yang lebih murah meskipun tingkat efisiensinya lebih rendah jika dibandingkan dengan silikon kristal tunggal. Kedua jenis silikon wafer di atas dikenal sebagai generasi pertama. Generasi kedua sel surya adalah sel surya tipe lapisan tipis (*thin film*). Ide pembuatan jenis sel surya lapisan tipis adalah untuk mengurangi biaya pembuatan sel surya. Tipe ini hanya menggunakan kurang dari 1% dari bahan baku silikon jika dibandingkan dengan bahan baku untuk tipe silikon wafer. Tipe sel surya fotokimia merupakan jenis sel surya *exciton* yang terdiri dari sebuah lapisan partikel nano (biasanya titanium dioksida) yang diendapkan dalam sebuah perendam (*dye*). Jenis ini pertama kali diperkenalkan

oleh Profesor Graetzel pada tahun 1991 sehingga jenis sel surya ini sering juga disebut dengan Graetzel sel atau *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC) yang termasuk sel surya generasi ketiga. Graetzel sel ini dilengkapi dengan pasangan redok yang diletakkan dalam sebuah elektrolit (bisa berupa padat atau cairan). Komposisi penyusun sel surya seperti ini memungkinkan bahan baku pembuat Graetzel sel lebih fleksibel dan bisa dibuat dengan metode yang sangat sederhana seperti *screen printing*. Meskipun sel surya generasi ketiga ini masih memiliki masalah besar dalam hal efisiensi dan usia aktif sel yang masih terlalu singkat, sel surya jenis ini akan mampu memberi pengaruh besar dalam sepuluh tahun ke depan mengingat harga dan proses pembuatannya yang sangat murah [1]. Makalah ini menyoroti dan membahas perkembangan pewarna alami sebagai *sensitizer* dan pengembangannya di Indonesia. .

II. DYE SENSITIZED SOLAR CELLS (DSSC)

A. Struktur DSSC

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC), sejak pertama kali ditemukan oleh Professor Michael Gratzel pada tahun 1991, telah menjadi salah satu topik penelitian yang dilakukan intensif oleh peneliti di seluruh dunia karena ramah lingkungan dan rendah biaya produksinya. DSSC bahan disebut juga terobosan pertama dalam teknologi sel surya sejak sel surya silikon. Berbeda dengan sel surya konvensional, DSSC adalah sel surya fotoelektrokimia sehingga menggunakan elektrolit sebagai medium transport muatan. Selain elektrolit, DSSC terbagi menjadi beberapa

bagian yang terdiri dari nanopori TiO_2 , molekul *dye* yang terabsorpsi di permukaan TiO_2 , dan katalis yang semuanya dideposisi diantara dua kaca konduktif, seperti terlihat pada Gambar 1.

Gambar 1. Struktur *Dye Sensitized Solar Cell* [2].

B. Cara Kerja DSSC

Skema kerja dari DSSC ditunjukkan pada Gambar 2. Pada dasarnya prinsip kerja dari DSSC merupakan reaksi dari transfer electron [3,4].

1. Proses pertama dimulai dengan terjadinya eksitasi elektron pada molekul *dye* akibat absorpsi foton. Elektron tereksitasi dari *ground state* (D) ke *excited state* (D^*).

Gambar 2. Skema Kerja dari DSSC [4]

- Elektron dari *excited state* kemudian langsung terinjeksi menuju *conduction band* (E_{CB}) titania sehingga molekul *dye* teroksidasi (D^+). Dengan adanya donor elektron oleh elektrolit (I^-) maka molekul *dye* kembali ke keadaan awalnya (*ground state*) dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh *dye* yang teroksidasi.

- Setelah mencapai elektroda WE (Working Elektrode), elektron mengalir menuju elektroda CE (Counter-Elektrode) melalui rangkaian eksternal.
- Adanya katalis pada elektroda CE (Counter Elektrode), elektron diterima oleh elektrolit sehingga hole yang terbentuk pada elektrolit (I_3^-), akibat donor elektron pada proses sebelumnya, berekombinasi dengan elektron membentuk *iodide* (I^-).

Iodide ini digunakan untuk mendonor elektron kepada *dye* yang teroksidasi, sehingga terbentuk suatu siklus transport elektron. Dengan siklus ini terjadi konversi langsung dari cahaya matahari menjadi listrik.

C. Performansi Sel Surya

Daya listrik yang dihasilkan sel surya ketika mendapat cahaya diperoleh dari kemampuan perangkat sel surya tersebut untuk memproduksi tegangan ketika diberi beban dan arus melalui beban pada waktu yang sama. Kemampuan ini direpresentasikan dalam kurva arus-tegangan (I-V) Gambar 3. Ketika sel dalam kondisi *short circuit*, arus maksimum atau arus *short circuit* (I_{sc}) dihasilkan, sedangkan pada kondisi

Gambar 3. Karakteristik I-V sel surya

open circuit tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangannya maksimum, disebut tegangan *open-circuit* (V_{oc}). Titik pada kurva I-V yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut titik daya maksimum (V_{mpp} , I_{mpp}).

Karakteristik penting lainnya dari sel surya yaitu *Fill Factor* (FF), dengan persamaan 4,

$$FF = \frac{V_{mp} I_{mp}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (4)$$

Dengan menggunakan *Fill Factor* maka maksimum daya dari sel surya didapat dari persamaan 5,

$$P_{maks} = V_{oc} I_{sc} FF \quad (5)$$

Sehingga efisiensi sel surya yang didefinisikan sebagai daya yang dihasilkan dari sel (P_{maks}) dibagi dengan daya dari cahaya yang datang (P_{in}) persamaan 6:

$$\mu = \frac{P_{maks}}{P_{in}} \quad (6)$$

Nilai efisiensi ini yang menjadi ukuran global dalam menentukan kualitas performansi suatu sel surya.

III. PEWARNA ALAMI SEBAGAI SENSITIZER

Pewarna sebagai *sensitizer* memainkan peran kunci dalam menyerap sinar matahari dan mengubah energi matahari menjadi energi listrik pada DSSC. Banyak logam kompleks dan pewarna organik telah disintesis dan digunakan sebagai *sensitizer*. Meskipun DSSC tersebut telah memberikan efisiensi yang relatif tinggi, ada beberapa kelemahan menggunakan logam mulia. Logam mulia dianggap sebagai sumber daya alam dalam jumlah yang terbatas, maka biaya produksi relatif mahal dibandingkan dengan pewarna organik. Pewarna alami digunakan dalam DSSC karena biaya yang rendah, ekstraksi mudah, tidak beracun, dan sifat ramah lingkungan [5-27]. Namun, pewarna organik sering dijadikan masalah juga, seperti sintesisnya rumit dan rendah hasil. Meskipun demikian, pewarna alami yang ditemukan dalam bunga, daun, dan buah dapat diekstraksi dengan prosedur yang sederhana. Karena efisiensi biayanya, non-toksitas, dan biodegradasi lengkap, pewarna alami telah menjadi subjek populer penelitian. Secara keseluruhan, pewarna alami sebagai *sensitizer* untuk DSSC yang sangat menjanjikan karena ramah lingkungan dan biaya produksi relatif murah. Tabel 1. memperlihatkan hasil parameter DSSC yang menggunakan sebelas pewarna alami yang diekstrak dari bunga, buah, daun, kulit, dan akar zaitun, lycium shawii, dan pohon Zizyphus [27].

TABEL I. PARAMETER DSSC [27]

Extract	λ_{Max} (nm)	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	J_{MP} (mA/cm ²)	V_{MP} (V)	P_{max} (mW/cm ²)	FF	η (%)
lycium shawii flower	662	0,42	0,58	0,38	0,27	0,10	0,42	0,10
olive grain	666	0,58	0,55	0,38	0,31	0,12	0,38	0,12
olive leaves	432 664	0,85	0,59	0,35	0,48	0,17	0,33	0,17
lycium shawii leaves	412 664	1,20	0,62	0,39	0,82	0,32	0,43	0,32
zizyphus leaves	416 662	1,50	0,68	0,43	0,93	0,40	0,40	0,40
olive bark	662	0,35	0,54	0,34	0,18	0,06	0,32	0,06
lycium shawii bark	434 662	0,15	0,44	0,26	0,07	0,02	0,29	0,02
zizyphus bark	662	0,42	0,5	0,30	0,24	0,07	0,35	0,07
olive root	636	0,45	0,53	0,30	0,28	0,08	0,35	0,08
lycium shawii root	662	0,13	0,38	0,22	0,06	0,01	0,26	0,01
zizyphus root	664	0,37	0,49	0,26	0,16	0,04	0,24	0,04

IV. POTENSI PENGEMBANGAN DSSC DI INDONESIA

Untuk menanggulangi krisis energi dan lingkungan pengembangan energi terbarukan yang ramah lingkungan sebagai pengganti bahan bakar fosil merupakan salah satu pilihan yang paling tepat. Kebijakan energi nasional dalam rangka untuk menuju kemandirian dan ketahanan energi nasional yang berdaulat telah ditargetkan pada tahun 2025 peran Energi Baru dan Energi Terbarukan paling sedikit 23% dan tahun 2050 paling sedikit 31% [28]. Bahan bakar fosil selain penyumbang emisi gas CO₂, juga persediaannya semakin menipis, karena membutuhkan proses yang sangat lama untuk terbentuknya bahan bakar tersebut. Energi terbarukan yang perlu ditingkatkan pemanfaatannya adalah pengembangan teknologi pembangkit listrik tenaga matahari. Indonesia memiliki potensi energi surya yang cukup besar mengingat letak geografisnya berada di antara 6° Lintang Selatan dan 11° Lintang Utara membentang di sepanjang garis khatulistiwa. Posisi ini memberikan intensitas sinar matahari yang cukup besar dan stabil sepanjang tahun sebagai modal dasar untuk pengembangan sumber energi surya. Berdasarkan penyinaran matahari yang dihimpun dari berbagai lokasi di Indonesia dapat dikelompokkan berdasarkan wilayah yaitu Kawasan Barat Indonesia (KBI) dengan intensitas penyinaran rata – rata 4.500 Wh/m²/hari dengan variasi bulanan 10% dan Kawasan Timur Indonesia (KTI) 5.100 Wh/m²/hari dengan variasi bulanan 9%, atau rata-rata intensitas penyinaran di Indonesia 4.8 kWh/m²/hari dengan variasi bulanan sekitar 9%. Potensi energi surya di Indonesia

sekitar 4,8 kWh/m² atau setara dengan 112.000 GWp yang sudah dimanfaatkan baru sekitar 10 MWp. Saat ini pemerintah telah mengeluarkan *roadmap* pemanfaatan energi surya yang menargetkan kapasitas PLTS terpasang hingga tahun 2025 adalah sebesar 0,7 GW atau sekitar 50 MWp/tahun. Jumlah ini merupakan gambaran potensi pasar yang cukup besar dalam pengembangan energi surya di masa datang [29]. Saat ini pengembangan PLTS di Indonesia telah mempunyai basis yang cukup kuat dari aspek kebijakan. Kementerian ESDM mulai mendorong produsen panel surya untuk memproduksi sendiri sel surya dengan dikeluarkannya Peraturan Menteri (Permen) ESDM Nomor 17 Tahun 2013 tentang Pembelian Tenaga Listrik oleh PT PLN dari PLTS Fotovoltaik. Namun pada tahap implementasi, potensi yang ada belum dimanfaatkan secara optimal. DSSC merupakan salah satu kandidat potensial sel surya generasi mendatang, hal ini dikarenakan tidak memerlukan material dengan kemurnian tinggi sehingga biaya proses produksinya yang relatif rendah dibanding dengan sel surya berbasis silikon. Pewarna alami sangat atraktif untuk aplikasi DSSC karena murah, tersedia dalam jumlah besar, dan berkelanjutan. Indonesia adalah negara yang sangat kaya dengan tumbuh-tumbuhan sebagai sumber pewarna alami baik karotenoid, anthosianin, betalain dan klorofil. Karotenoid merupakan zat warna (pigmen) berwarna kuning, merah dan oranye yang secara alami terdapat dalam tumbuhan dan hewan, seperti dalam wortel, tomat, jeruk, algae, lobster, dan lain-lain. Lebih dari 100 macam karotenoid terdapat di alam, tetapi hanya beberapa macam yang telah dapat diisolasi atau disintesa untuk bahan pewarna makanan. Diantaranya ialah beta-karotein, beta-apo-

8'-karotenal, canthaxantin, bixin dan xantofil. Karotenoid merupakan senyawa yang tidak larut dalam air dan sedikit larut dalam minyak atau lemak. Karotenoid terdapat dalam buah pepaya, kulit pisang, tomat, cabai merah, mangga, wortel, ubi jalar, labu kuning, jagung dan pada beberapa bunga yang berwarna kuning dan merah. Diperkirakan lebih dari 100 juta ton karotenoid diproduksi setiap tahun di alam. Senyawa ini baik untuk mewarnai margarin, keju, sop, pudding, es krim dan mie dengan pemakaian 1 sampai 10 ppm. Beberapa jenis karotenoid yang banyak terdapat di alam dan bahan makanan adalah β -karoten (berbagai buah-buahan yang kuning dan merah), likopen (tomat), kapxantin (cabai merah), dan biksin (annatis). Karotenoid yang mempunyai gugus hidroksil disebut xantofil. Salah satu pigmen yang termasuk kelompok *xantofil* adalah *kriptoxantin* yang mempunyai rumus mirip sekali dengan β -karoten. Perbedaannya hanya bahwa kriptoxantin mempunyai gugus hidroksil. Pigmen tersebut merupakan pigmen utama pada jagung yang berwarna kuning, lada, pepaya, dan jeruk keprok. *Anthocyanin* adalah kelompok besar pigmen tanaman yang berwarna merah biru. *Anthocyanin* terdapat pada semua tumbuhan tingkat tinggi, terutama di bunga dan buah-buahan tetapi juga di daun, batang, dan akar. Warna anthocyanin tergantung pada struktur, dan juga pada keasaman buah. *Antocyanin* banyak berwarna merah pada kondisi asam dan membiru pada kondisi asam sedikit. Mereka semua didasarkan pada struktur inti tunggal dasar, ion *flavyllium*. Zat warna ini larut dalam air dan warnanya oranye, merah dan biru. Secara alami terdapat dalam anggur, bunga telang, stawberry, raspberry, apel, bunga ros, kembang sepatu, buah duwet, buah naga dan tumbuhan lainnya. Biasanya buah-buahan dan sayuran warnanya tidak hanya ditimbulkan oleh satu macam pigmen antosianin saja, tetapi kadang-kadang sampai 15 macam pigmen seperti pelargonidin, sianidin, peonidin dan lain-lain yang tergolong glikosida-glikosida antosianidin. Pada suasana asam, antosianin sama dengan warna amaranth, tetapi jika pH bahan di atas 4 warna dapat cepat berubah. Antosianin tidak tahan terhadap asam askorbat, metal-metal dan cahaya. Pada pH rendah (asam) pigmen berwarna merah dan pada pH tinggi berubah menjadi violet dan kemudian menjadi biru. Betalain adalah pigmen tumbuhan yang memberi warna kuning, jingga, merah, dan ungu pada bagian daun dan buah. Beberapa contoh tanaman yang mengandung betalain adalah beet, angkak, bayam merah. Klorofil adalah pigmen hijau yang ditemukan di kebanyakan tanaman, alga, dan bakteri tertentu. Hampir semua sayuran berdaun mengandung klorofil, itu adalah salah satu pigmen tertua dan paling banyak dikonsumsi dalam makanan kita. Seperti yang telah ada dalam diet manusia, maka klorofil dapat dianggap sebagai salah satu komponen makanan yang paling aman. Klorofil memainkan peran penting dalam tanaman dalam fotosintesis, mekanisme yang digunakan tanaman dalam memperoleh energi. Klorofil merupakan pigmen utama pada tumbuhan, alga dan bakteri fotosintetik. Dalam banyak buah, klorofil terdapat pada buah yang belum dimasak yang kemudian warna hijaunya menghilang secara perlahan ketika karotenoid merah dan

kuning mengagantikannya selama pemasakan. Beberapa tanaman dikenal sangat kaya dengan klorofil, yaitu daun suji, daun katuk, daun singkong, chlorela, alfalfa, spirulina, rumput gandum, bayam dan cincau [30]. Dengan demikian *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) sangat potensial di kembangkan di Indonesia sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan. Penulis telah menyusun *roadmap* penelitian DSSC, diharapkan pada tahun 2025 telah dihasilkan DSSC komersial.

V. KESIMPULAN

Sel surya berbasis pewarna alami sebagai sumber energi alternatif sangat potensial dikembangkan yang memiliki beberapa keunggulan :

1. Ramah lingkungan karena tidak menimbulkan polusi, seperti polusi udara yang disebabkan oleh penggunaan bahan bakar fosil.
2. DSSC berbasis pewarna alami memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber energinya yang tersedia sangat melimpah di Indonesia dibandingkan dengan sumber energi alternatif lainnya.
3. Indonesia adalah negara yang sangat kaya dengan tumbuh-tumbuhan sebagai sumber pewarna alami baik karotenoid, anthosianin, betalain dan klorofil.
4. Pembuatan DSSC tidak memerlukan teknologi tinggi sehingga dapat dikembangkan sebagai teknologi tepat guna di masa mendatang karena dapat diproduksi dalam skala rumah tangga dengan biaya yang relatif murah.

REFERENSIF

- [1] Brian Yulianto, Solar Cell, Sumber Energi Terbarukan Masa Depan, Tersedia : <http://esdm.go.id/berita/56-artikel/4034-solar-cell-sumber-energi-terbarukan-masa-depan-.html> diakses 2 Maret 2015
- [2] Silvia Widya Mardiana, 2010. Dye-Sensitized-Solar-Cell (DSSC) : Sel Surya Organik, Majalah Energi. Tersedia : <http://majalahenergi.com/forum/energi-baru-dan-terbarukan/energi-surya/dye-sensitized-solar-cell-dssc-sel-surya-organik>
- [3] <https://teknologisurya.wordpress.com/dasar-teknologi-sel-surya/prinsip-kerja-sel-surya/> diakses 2 Maret 2015 jam 08.17.
- [4] Karl Martin Karlsson, 2011: "Design, Synthesis and Properties of Organic Sensitizers for Dye Sensitized Solar Cells", Doctoral Thesis, KTH Chemical Science and Engineering, Royal Institute of Technology, SE-100 44 Stockholm, Sweden
- [5] Souad A. M. Al-Bat'hi, Iraj Alaei, Iis Sopyan, 2013, Natural Photosensitizers for Dye Sensitized Solar Cells, INTERNATIONAL JOURNAL of RENEWABLE ENERGY RESEARCH, Vol.3, No.1.
- [6] Ho Chang, Mu-Jung Kao, Tien-Li Chen, Hin-Guo Kuo, 2011, Natural Sensitizer for Dye-Sensitized Solar Cells Using Three Layers of Photoelectrode Thin Films with a Schottky Barrier, American J. of Engineering and Applied Sciences 4 (2): 214-222.
- [7] Na Li, Nengqian Pan, Danyong Li, and Shiwei Lin, 2013, Natural Dye-Sensitized Solar Cells Based on Highly Ordered TiO₂ Nanotube Arrays, International Journal of Photoenergy, Volume 2013, Article ID 598753, 5 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2013/598753>
- [8] Reena Kushwaha, Pankaj Srivastava, and Lal Bahadur, 2013, Natural Pigments from Plants Used as Sensitizers for TiO₂ Based Dye-Sensitized Solar Cells, Journal of Energy, Volume 2013, Article ID 654953, 8 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/654953>
- [9] Hee-Je Kim, Yeo-Tae Bin, S.N. Karthick1, K.V. Hemalatha, C. Justin Raj1, S.Venkatesan, Songyi Park, G. Vijayakumar, 2013, Natural Dye

- Extracted from Rhododendron Species Flowers as a Photosensitizer in Dye Sensitized Solar Cell, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 8, 6734 – 6743
- [10] Ho Chang, Mu-Jung Kao, Tien-Li Chen, Chih-Hao Chen, Kun-Ching Cho, and Xuan-Rong Lai, 2013, Characterization of Natural Dye Extracted from Wormwood and Purple Cabbage for Dye-Sensitized Solar Cells, *International Journal of Photoenergy*, Volume 2013, Article ID 159502, 8 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/159502>
 - [11] Jinchu. I, C.O. Sreekala, and K.S.Sreelatha, 2014, Dye Sensitized Solar Cell using Natural Dyes as Chromophores -Review, *Materials Science Forum Vol. 771*, pp 39-51
 - [12] Ahed Zyoud , Nidal Zaatar, Iyad Saadeddin, Muath H. Helal, Guy Campet, Moulki Hakim, DaeHoon Park, Hikmat S. Hilal, 2011, Alternative natural dyes in water purification: Anthocyanin as TiO₂-sensitizer in methyl orange photo-degradation, *Solid State Sciences* 13: 1268-1275
 - [13] Mounir Alhamed, Ahmad S. Issa, A. Wael Doubal , 2012, Studying of Natural Dyes Properties as Photo-Sensitizer for Dye Sensitized Solar Cells (DSSC), *Journal of Electron Devices*, Vol. 16, pp. 1370-1383
 - [14] Aduloju Kelvin Alaba, 2012, Utilization of Natural *Morinda lucida* as photosensitizers for dyesensitized solar cell, *Archives of Applied Science Research*, 2012, 4 (1):419-425
 - [15] Mary Rosana, N.T., D. JoshuaAmarnath, K. L. Vincent Joseph, S. Anandan, 2014, Mixed Dye From Nerium Oleander and Hibiscus Flowers as a Photosensitizer in Dye Sensitized Solar Cells, *International Journal of ChemTech Research*, 6(12), pp 5022-5026
 - [16] Huizhi Zhou, Liqiong Wu, Yurong Gao, Tingli Ma, 2011, Dye-sensitized solar cells using 20 natural dyes as sensitizers, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 219, 188–194
 - [17] Hernández-Martínez, A.R., M. Estevez, S. Vargas, F. Quintanilla, R. Rodríguez, 2012, Natural Pigment-Based Dye-Sensitized Solar Cells, *Journal of Applied Research and Technology* , Vol. 10 No.1
 - [18] Leta Takele Menisa, Abi Tadesse Mengesha, Girma Goro Gonfa, Taketel Yohannes Anshebo, 2014, Dye-Sensitized Solar Cell using Extract of Jacaranda Mimosifolia and Salvia Splendens as a Natural Sensitizer, *Chemistry and Materials Research* ISSN 2224- 3224 (Print) ISSN 2225- 0956 (Online) Vol.6 No.12,
 - [19] Maabong, K, C. M. Muiva, P. Monowe, T. S. Sathiaraj, M. Hopkins, L. Nguyen, K. Malungwa and M. Thobega, 2015. Natural Pigments as Photosensitizers for Dye-Sensitized Solar Cells with TiO₂ Thin Films, *INTERNATIONAL JOURNAL of RENEWABLE ENERGY RESEARCH*, Vol.5, No.1.
 - [20] Maciej Zalas, B Bahej Gierczyk, Hubert Bogacki, and Grzegorz Schroeder, 2015. The *Cortinarius* Fungi Dyes as Sensitizers in Dye-Sensitized Solar Cells, Hindawi Publishing Corporation *International Journal of Photoenergy* Volume 2015, Article ID 653740, 6 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2015/653740>
 - [21] T. S. Senthil, N. Muthukumarasamy, and Misook Kang, 2014, ZnO Nanorods Based Dye Sensitized Solar Cells Sensitized using Natural Dyes Extracted from Beetroot, Rose and Strawberry, *Bull. Korean Chem. Soc.* 2014, Vol. 35, No. 4 ,<http://dx.doi.org/10.5012/bkcs.2014.35.4.1050>
 - [22] Taher M. El-Agez, Sopyan A. Taya, Kamal S. Elrefi, Monzir S. Abdel-Latif, 2014. Dye-sensitized solar cells using some organic dyes as photosensitizers, *Optica Applicata*, Vol. XLIV, No. 2, 2014. DOI: 10.5277/oa140215
 - [23] Mohammed Isah Kimpa, Musa Momoh, Kasim Uthman Isah, Hassan Nawawi Yahya, Muhammed Muhammed Ndamitso, 2012, Photoelectric Characterization of Dye Sensitized Solar Cells Using Natural Dye from Pawpaw Leaf and Flame Tree Flower as Sensitizers, *Materials Sciences and Applications*, 3, 281-286
 - [24] Ovir O. Kelvin, and Ekpunobi, 2012. Fabrication and Characterization of Dye Sensitized Solar Cell Using Anacardium Occidentale Sensitizer, *Advances in Applied Science Research*, 3 (5):3390-3395
 - [25] Sofyan A. Taya, *et al*, 2014a. Fabrication of Dye-Sensitized Solar Cells Using Dried Plant Leaves, *International Journal of Renewable Energy Research*, Vol.4, No. 2,
 - [26] Sofyan A. Taya, Taher M. El-Agez, Hatem S. El-Ghamri, Monzir S. Abdel-Latif, 2014b. Dye-sensitized solar cells using fresh and dried natural dyes, *International Journal of Materials Science and Applications*; 2(2) : 37-42
 - [27] Abdel-Latif, Monzir S., Mahmoud B. Abuiriban, Taher M. El-Agez, and Sofyan A. Taya, 2015, Dye-Sensitized Solar Cells Using Dyes Extracted From Flowers, Leaves, Parks, and Roots of Three Trees, *INTERNATIONAL JOURNAL of RENEWABLE ENERGY RESEARCH*, Vol.5, No.1
 - [28] Peraturan Pemerintah RI No. 79 Tahun 2014. Tentang Kebijakan Energi Nasional.
 - [29] Kementerian Energi Sumber Daya Mineral, 2012. Matahari Untuk PLTS di Indonesia. Tersedia : <http://esdm.go.id/berita/artikel/56-artikel/5797-matahari-untuk-plts-di-indonesia> diakses tanggal 28 Pebruari 2015
 - [30] Mutiara Nugraheni, Pewarna Alami Makanan dan Potensi Fungsionalnya, Fakultas Teknik Univesitas Negeri Yogyakarta