

## Strategi Implementasi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) di Indonesia

Andhika Daniswara<sup>1)</sup>, Genta Raydiska<sup>1)</sup>, Yori Timotius<sup>1)</sup>

<sup>(1)</sup> Fakultas Teknik/Teknik Kimia/Universitas Indonesia, Depok 16424

\*Email: Andhika.daniswara@ui.ac.id

### ABSTRAK

Pemerintah Indonesia telah mencanangkan Kebijakan Energi Nasional (KEN) yang menargetkan Indonesia menambah energi campuran yang berasal dari Energi Baru dan Terbarukan (EBT) pada tahun 2025 sebesar 23% dan pada tahun 2050 sebesar 31%. Dengan sumber energi surya yang melimpah di sekitar garis khatulistiwa, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menjadi salah satu peluang alternatif EBT yang menjanjikan. Sayangnya, biaya investasi pemasangan panel surya konvensional berbahan baku silikon dengan tingkat kemurnian tinggi belum kompetitif. *Dye-sensitized solar cell* (DSSC) diprediksi akan menggantikan panel surya konvensional karena lebih ekonomis, mudah dibuat, serta lebih ramah lingkungan sehingga dapat meningkatkan target pemenuhan kebutuhan EBT berbasis tenaga surya. Berbeda dengan sistem konvensional di mana semikonduktor (Si) berperan sebagai penyerap cahaya sekaligus penghantar arus, kedua fungsi tersebut dijalankan oleh dua komponen berbeda pada DSSC, yakni *sensitizer* dan semikonduktor (TiO<sub>2</sub>). Cahaya diabsorpsi oleh lapisan *sensitizer* yang terikat pada semikonduktor TiO<sub>2</sub>. Arus dari elektron tereksitasi kemudian diinjeksi dari *sensitizer* ke pita konduksi padatan. Penulis menggunakan studi literatur untuk mengulas beberapa strategi meningkatkan *Photo Conversion Efficiency* (PCE) berupa pemilihan material penyusun komponen DSSC dengan memanfaatkan material yang menghasilkan PCE yang tinggi, seperti N719 (11,18%), LD4 (10,06%), dan D149 (9%) sebagai penyusun fotoanoda, *counter electrode*, serta pewarna *sensitizer* secara berturut-turut. Setelah desain ditentukan, penulis menentukan langkah implementasi DSSC secara masif di Indonesia.

Kata Kunci: DSSC, PCE, Fotoanoda, *Sensitizer*, *Counter electrode*

### ABSTRACT

The Government of Indonesia has launched a National Energy Policy that targets Indonesia to increase mixed energy derived from New and Renewable Energy (NRE) by 23% by 2025 and by 2050 by 31%. With abundant solar energy sources around the equator, Tenaga Surya Power Plant is one of the promising NRE alternative opportunities. Unfortunately, the investment cost of installing conventional silicone-based solar panels with a high level of purity has not been competitive. *Dye-sensitized solar cell* (DSSC) is predicted to replace conventional solar panels because it is more economical, easy to make, as well as more environmentally friendly, so as to increase the target of meeting the needs of solar-based NRE. Unlike conventional systems where semiconductors (Si) act as both light absorbers and current deliverers, both functions are performed by two different components of the DSSC, namely the *sensitizer* and semiconductor (TiO<sub>2</sub>). The light is absorbed by a *sensitizer* layer that is bound to the TiO<sub>2</sub> semiconductor. The current from the excited electron is then injected from the *sensitizer* into the solid conduction band. The authors used a literature study to review several strategies to improve *Photo Conversion Efficiency* (PCE) in the form of selecting DSSC component building materials by utilizing materials that produce high PCE, such as N719 (11,18%), LD4 (10,06%), and D149 (9%) as a constituent of photoanoda, *counter electrode*, as well as dye *sensitizer* in a row. Once the design is determined, the author determines the massive implementation steps of DSSC in Indonesia.

Kata Kunci: DSSC, PCE, Fotoanoda, *Sensitizer*, *Counter electrode*

## I. Pendahuluan

Krisis energi yang tengah berlangsung, khususnya dari sektor minyak bumi telah memberikan pengaruh besar ke berbagai negara untuk menemukan sumber energi alternatif yang menjanjikan. Sejak tahun 1970-an, banyak negara yang memberikan perhatian khusus kepada salah satu sumber energi alternatif yang memiliki potensi besar, yaitu matahari. Sumber energi matahari menjadi salah satu opsi yang potensial karena kelimpahannya dan pemanfaatannya yang lebih sedikit menimbulkan polusi. Besar energi yang di terima permukaan bumi adalah sekitar 1.200.000 TW (trillion watt). Hal ini menjadi perhatian besar karena jika dibandingkan dengan kebutuhan

tahunan energi *global* sebesar 20 TW, energi jauh melampaui angka tersebut.

Terhusus di Indonesia, Pemerintah telah mencanangkan kebijakan yang menargetkan penambahan sumber energi campuran yang 23% berasal dari EBT. Potensi besar energi surya di Indonesia menjadi salah satu sumber EBT yang menjanjikan. Indonesia memiliki potensi energi surya sebesar 4.8 KWh/m<sup>2</sup> atau setara dengan 112.000 GWp. Di lain sisi, pemanfaatan sumber energi ini masih minim di Indonesia yaitu sebesar 10 MWp. Mendukung pengembangan pemanfaatan energi ini, pemasangan PLTS di Indonesia sebesar 0.87 Gw atau sekitar 50 MWp/tahun.

Perhatian yang cukup besar diberikan kepada pengembangan energi ini selama beberapa tahun kebelakang yang membawa kepada terbentuknya salah satu generasi ke 3 *solar cell* yaitu DSSC. DSSC menjadi salah satu pembangkit energi yang potensial karena biaya produksi yang diprediksi lebih murah dengan efisiensi yang terus berkembang. Contoh *dye* yang digunakan adalah ruthenium, yang memberikan efisiensi sebesar 11% dan porphrin pada 12%. Namun, ada beberapa hal yang menjadi perhatian yaitu produksi *dye* sintesis yang cukup mahal dan hasil produk samping yang berbahaya.

Beberapa studi telah dilakukan untuk mengatasi kekurangan yang dimiliki oleh DSSC. Variabel penting yang menjadi dasar penelitian berupa penyusun fotoanoda, *counter electrode*, dan pewarna *sensitizer* (*dye*). Parameter penting yang mendasari penelitian ini adalah efisiensi, dan penggunaan bahan *dye* yang dapat diganti menjadi bahan yang jauh lebih murah, yaitu natural *dye*.

## II. Bahan dan Metode

### A. Parameter Pengukur Efisiensi

Terdapat beberapa parameter yang berfungsi untuk mengukur kemampuan DSSC dalam menghasilkan listrik. Nilai dari variabel-variabel berikut sangat membantu untuk menentukan material dan modifikasi terbaik bagi DSSC.

#### *Photocurrent density* ( $J_{SC}$ )

Kerapatan arus adalah arus maksimal yang dapat diproduksi oleh sel surya ( $I_{SC}$ ) per satuan luas – pada umumnya dinyatakan dalam Ampere (A) atau mili-ampere (mA) per centimeter kuadrat ( $cm^2$ ).

#### *Open circuit potential* ( $V_{OC}$ )

Tegangan sirkuit diukur dengan satuan Volt (V) atau mili-Volt (mV). Nilai  $V_{OC}$  diukur dalam kondisi sirkuit yang terbuka. Semakin sel surya mendekati nilai tegangan maksimum, arus sirkuitnya akan semakin mendekati angka nol.

#### *Fill Factor* ( $FF$ )

Parameter *Fill Factor* menentukan daya maksimal ( $P_{MP}$ ) dari sel surya Bersama dengan  $V_{OC}$  dan  $I_{SC}$  (*short-circuit current*)

$$FF = \frac{P_{MP}}{V_{OC} \times I_{SC}}$$

#### *Efficiency* ( $\eta$ )

Efisiensi DSSC keseluruhan ditentukan oleh kerapatan arus ( $J_{SC}$ ), tegangan ( $V_{OC}$ ), *Fill Factor* ( $FF$ ), serta intensitas cahaya ( $I_0$ ). Parameter ini diukur dalam persen (%) yang merepresentasikan porsi energi surya yang dikonversi menjadi energi listrik.

$$\eta = \frac{J_{SC} \times V_{OC} \times FF}{I_0}$$

Dapat disimpulkan bahwa peningkatan kerapatan arus dapat memperbesar efisiensi konversi alat. Hal ini dapat dicapai dengan memaksimalkan penyerapan energi surya oleh alat.

### B. Komponen *Dye-Sensitized Solar Cell*

#### *Photoelectrode*

*Photoelectrode* atau pada DSSC sering juga disebut dengan *Transparent Conducting Oxide* (TCO) merupakan sebuah lapisan kaca transparan terluar pada susunan DSSC. TCO berfungsi untuk mengendapkan lapisan fotoanoda dan katalis pada DSSC, melewatkan cahaya untuk bisa ditangkap oleh *dye*, serta mengambil elektron yang ditangkap oleh lapisan fotoanoda untuk dapat mengumpulkan dan mengalirkan listrik ke sirkuit eksternal. Karena fungsinya tersebut, biasanya TCO memiliki karakteristik sebagai berikut: Pertama, dibutuhkan transparansi minimal 80% untuk bisa menangkap cahaya matahari yang masuk sehingga DSSC bisa efektif bekerja. Kedua, TCO harus memiliki konduktivitas listrik yang tinggi sehingga efisiensi listrik yang dihasilkan bisa tinggi dan kehilangan energi bisa dikurangi.

#### *Photoanode*

*Photoanode* berfungsi sebagai lapisan semi-konduktor pada DSSC yang menempel pada TCO untuk mengambil elektron yang ter-eksitasi dari *dye*. Elektron yang ter-eksitasi dari keadaan dasar ke keadaan ter-eksitasi berpindah sangat cepat dalam hitungan *subpicosecond*. Perpindahan elektron antar molekul di *photoanode* mengakibatkan terciptanya *electron-hole junction*, lubang yang bermuatan positif dan muatan negatif yang berisi elektron menyebabkan terciptanya tegangan listrik. Beberapa riset dilakukan untuk meningkatkan penyerapan cahaya, penyebaran, transportasi muatan, dan mengurangi efek rekombinasi. Oleh karena itu, pemilihan material dan bentuk morfologinya sangat memengaruhi efektivitas pada *photoanode*.

**Dye**

*Dye (photosensitizer)* berfungsi menyerap energi foton dari cahaya tampak dan menginjeksikannya ke semikonduktor untuk memproduksi arus listrik yang terhubung ke sirkuit eksternal. *Dye* yang ideal sebaiknya memenuhi beberapa kriteria, diantaranya:

1. Absorpsi tinggi pada rentang Panjang gelombang cahaya tampak (400nm – 700 nm)
2. Merekat kuat pada semikonduktor
3. Mudah direduksi oleh elektrolit
4. Stabil untuk memperpanjang umur pakai sel surya

Beberapa *dye* yang menunjukkan performa paling menjanjikan sampai saat ini tercantum pada tabel 1

**Electrolyte**

Elektrolit bertanggung jawab atas penggunaan jangka panjang dari DSSC. Elektrolit memiliki beberapa fungsi, diantaranya adalah sebagai injektor elektron ke lapisan semi konduktor untuk me-regenerasi *dye*, sebagai medium transfer muatan positif ke *counter electrode*, dan revitalisasi *dye* setelah menginjeksikan elektron, serta tempat berlangsungnya reaksi redoks. Elektrolit dibagi menjadi dua, yaitu elektrolit organik dan ionik. Elektrolit organik masih memiliki kekurangan, seperti sifatnya yang korosi, titik didih yang rendah, fotodegradasi, dan desorpsi pada *dye*. Sehingga penelitian pun juga terus dilakukan, seperti penggunaan elektrolit solid atau elektrolit gel

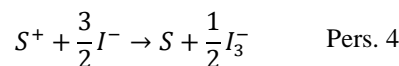
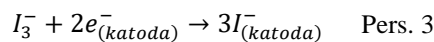
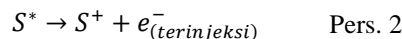
polimer untuk dapat memaksimalkan penggunaan dari elektrolit pada DSSC.

**Counter-electrode**

*Counter electrode* ditempatkan berlawanan dengan elektroda kerja di DSSC. Elektrolit mentransfer elektron ke molekul *dye* dan teroksidasi. Setelah teroksidasi, elektron terdifusi menuju *Counter-electrode*. Fungsi dari *counter-electrode* adalah untuk mengkatalis reduksi dari cairan elektrolit dan menarik lubang elektron. Pt menunjukkan efisiensi yang tinggi, tetapi harganya mahal dan raw materialnya yang terbatas.

**C. Cara Kerja DSSC**

Cara kerja DSSC terdiri dari empat tahap dasar: absorpsi cahaya, injeksi elektron, transportasi karier, dan produksi arus listrik. Pertama-tama, *sensitizer S* tereksitasi setelah menyerap foton menjadi  $S^*$ . Elektron kemudian terinjeksi ke semikonduktor untuk ditransfer ke beban eksternal. Arus kembali diterima DSSC, tepatnya di elektroda balik yang memicu reaksi redoks pada elektrolit untuk meregenerasi *sensitizer* teroksidasi ( $S^+$ ). Berikut mekanisme reaksi yang terjadi di DSSC dengan elektrolit *iodide/triiodide*.



Tabel 1. Perbandingan efisiensi dye

<i>Dye</i>	Jenis	Voc (V)	Jsc (mA/cm <sup>2</sup> )	FF	η (%)
N3	Ruthenium (logam)	0.720	18.20	0.730	10.00
N719	Ruthenium (logam)	0.846	17.73	0.750	11.18
N749	Ruthenium (logam)	0.720	20.53	0.704	10.40
Z910	Ruthenium (logam)	0.777	17.20	0.764	10.20
N945	Ruthenium (logam)	0.790	16.50	0.720	9.60
D149	<i>Indole</i> (organik)	0.653	19.96	0.694	9
NKX-2677	<i>Coumarin</i> (organik)	0.73	14.3	0.74	7.4
LD4	<i>Zinc porphyrins</i> (organik)	0.711	19.627	0.721	10.06
Kulit manggis	Alami	0.60	8.70	0.50	2.63
Kenaf Hibiscus	Alami	0.478	6.6733	0.60	2.87

**D. Implementasi DSSC Skala Urban**

Kebutuhan listrik rata rata rumah tangga di Indonesia pada 2017 berada pada angka 1.012 kWh

per tahun dan terus meningkat sampai saat ini. Oleh karena itu, dibutuhkan sumber energi listrik lainnya yang bisa memenuhi kebutuhan ini. PLTS telah menjadi salah satu alternatif yang diandalkan sejak 4 dekade lalu namun belum mengalami peningkatan yang signifikan.

Penggunaan PLTS di Indonesia mayoritas didominasi oleh sistem berdaya kecil atau yang lebih dikenal dengan *solar home system (SHS)*. Sistem berdaya kecil ini memiliki kapasitas yang masih terbatas sekitar 25-50 Watt. Umumnya, masyarakat yang menggunakan sistem ini digunakan oleh masyarakat pedesaan yang belum dapat terjangkau listrik. Total dari penggunaan SHS belum dapat mencukupi target capaian tahunan dengan jumlah 10 MW. Hal ini dikarenakan program SHS sangat bergantung pada program pemerintah.

Masyarakat urban merupakan komponen yang besar dalam komposisi populasi Indonesia. Di daerah Jawa dan Bali didominasi oleh penduduk kota yang berada pada angka lebih dari 50%. Daya beli, pemahaman tentang lingkungan dan penyelamatannya, serta tingkat pendidikan merupakan karakteristik masyarakat urban yang jauh lebih baik jika dibandingkan dengan masyarakat di desa dalam konteks pemanfaatan PLTS. Karakteristik masyarakat urban merupakan penggerak program PLTS skala urban.

Ditinjau dari faktor-faktor yang bersifat swakarsa dan swakelola yang berisikan pendidikan, pengetahuan masyarakat, daya beli, ketersediaan peralatan dan komponen PLTS, informasi teknis yang mudah diakses, dan layanan purna jual untuk meneruskan penggunaan sistem yang sudah terpasang. PLTS skala urban diharapkan dapat mengembangkan pembangkit listrik di Indonesia yang terbarukan dan ramah lingkungan. Salah satu contoh implementasi pada skala rumah tangga

dapat dilihat Tabel. 2 dan Tabel 3. yang diaplikasikan pada rumah dengan Tipe 60 m<sup>2</sup>.

Dye berfungsi menyerap energi foton dari cahaya tampak dan menginjeksikannya ke semikonduktor untuk memproduksi arus listrik yang terhubung ke sirkuit eksternal. Karena fungsinya yang esensial, pemilihan jenis dye sangat berpengaruh kepada efisiensi total dari DSSC.

### III. Hasil dan Pembahasan

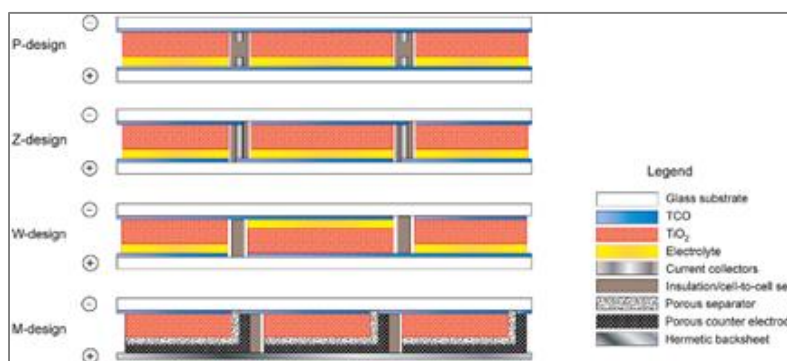
#### 1. Analisis Potensi

Setelah dibandingkan, DSSC dengan konfigurasi dye anorganik N719 menghasilkan angka efisiensi tertinggi – 11,18%. Sementara DSSC berbasis dye LD4 menempati posisi tertinggi untuk dye organik, yakni sebesar 10,06%. Semakin besar efisiensi bahan, semakin tinggi pula potensi daya listrik yang mampu disokong oleh DSSC.

Dye N719 berbasis ruthenium paling banyak digunakan dalam fabrikasi DSSC skala laboratorium saat ini. Ia dapat menghasilkan rata-rata efisiensi tertinggi dibandingkan dye jenis lain. Ruthenium adalah unsur logam yang relatif langka, oleh karenanya banyak dye organik bebas logam yang diteliti untuk menyaingi efisiensi N719, termasuk LD4.

LD4 dibuat dari senyawa organik dari kategori *phorphyrins*. LD4 dapat menghasilkan efisiensi konversi yang bersaing dengan DSSC N719 di bawah kondisi operasi yang sama. Walau demikian, harga dye berbasis ruthenium masih jauh lebih murah dibandingkan dengan dye organik karena fabrikasi dye organik yang belum umum.

Dye yang dipilih kemudian diintegrasikan dengan bagian-bagian DSSC lain sebagaimana yang telah disebutkan di bab sebelumnya. Bentuk modular yang nampak pada panel surya konvensional dapat diadaptasikan ke DSSC seperti Gambar 1.



Gambar 1. Desain modul DSSC. Dari “Commercialization of dye sensitized solar cells: Present status and future research,” J. B. Baxter, 2012, Journal of Vacuum Science and Technology, 30, Copyright 2012 American Vacuum Society

Tabel 2. Estimasi Konsumsi Daya Rumah tipe 60

Peralatan	Jumlah	Daya Terpasang(W)	Jam terpasang (h)	Konsumsi Daya (Wh)
Lampu LED	8	5	10	400
TV LED	1	28	4	112
Kulkas	1	Terbuka : 50	1	50
		Tertutup : 12	23	276
Rice cooker	1	Menghangatkan : 65	4	260
		Menanak : 350	1	350
Mesin cuci	1	Cuci bilas : 90	2	180
		Keringkan : 40	0,5	20
Air Conditioner	2	250	6	3000
Charging HP	2	25	1	50
Charging Laptop	1	65	1	65
Pompa Air	1	125	2	250
<b>Total (dalam sehari)</b>				5013
<b>Total Konsumsi Daya/hari +20% (Wh/hari)</b>				6016
<b>Total Konsumsi Daya Aman (x 1,5)</b>				9024

Tabel 3. Estimasi Harga Pemasangan DSSC pada Rumah Tipe 60

No	Peralatan dan spesifikasi	Jumlah Komponen (Unit)	Harga per unit (Rp)	Total Harga (Rp)
1	DSSC 300 Wp	7	4.140.000	28.980.00
2	Baterai VRLA 12 V 200 Ah	20	4.000.000	80.000.000
3	BCR MPPT 40 A	1	2.800.000	2.800.000
4	Inverter 3200 W pure sine wave	1	23.000.000	23.000.000
5	Kabel dan aksesoris lain		5.000.000	5.000.000
6	Rak DSSC	7	600.000	4.200.000
7	Rak baterai	1	400.000	400.000
8	Biaya operational		1000 watt = 2.500.000	2100 watt = 5.250.000
<b>Total</b>				149.630.000

#### IV. Kesimpulan

DSSC sebagai sel surya generasi ketiga memang terbukti memiliki beberapa keunggulan, diantaranya adalah kemudahan pembuatannya, harganya yang relatif lebih murah dari sel surya silikon, dan kemampuannya untuk menyerap cahaya dalam ruangan dan juga cahaya dengan intensitas yang rendah. Meskipun DSSC masih lebih banyak dalam tahap penelitian, namun sejauh ini efisiensinya sudah mulai bersaing dengan sel surya silikon yang beredar di pasaran. Tidak hanya itu, *dye* dari pewarna alami juga sudah mulai ada yang menunjukkan efisiensi sebesar 10 % yang terbuat dari *porphyrins*. Pengembangan DSSC agar dapat efisien dalam tahap komersialisasi juga terus dilakukan, seperti penggunaan *Co-sensitization*, *double-tandem* DSSC, elektrolit dengan fasa gel/solid, variasi material dan porositas

semikonduktor, dan juga penambahan luminescent, serta logam mulia untuk menimbulkan efek plasmon. Untuk kedepannya, perlu lebih banyak lagi penelitian – penelitian yang mulai mengarah ke prototipe rumah yang dipasangi DSSC agar pengembangan ke tahap komersialisasi bisa segera dilakukan.

#### V. Daftar Pustaka

##### Referensi dari Jurnal:

- Irmaya, A.I. (2017). Studi Simulasi Reservoir. *Jurnal Offshore: Oil, Facilities Production and Renewable Energy, Vol. 1(2)*, hal: 38-46.
- Lee, H., & Yoon, J. (2018). Power performance analysis of a transparent DSSC BIPV window based on 2 year measurement data in a full-scale mock-up. *Applied Energy, 225*,

- 1013-1021. doi:  
10.1016/j.apenergy.2018.04.086
- Fakharuddin, A., Jose, R., Brown, T., Fabregat-Santiago, F., & Bisquert, J. (2014). A perspective on the production of dye-sensitized solar modules. *Energy Environ. Sci.*, 7(12), 3952-3981. doi: 10.1039/c4ee01724b
- Omar, A., Ali, M., & Abd Rahim, N. (2020). Electron transport properties analysis of titanium dioxide dye-sensitized solar cells (TiO<sub>2</sub>-DSSCs) based natural dyes using electrochemical impedance spectroscopy concept: A review. *Solar Energy*, 207, 1088-1121. doi: 10.1016/j.solener.2020.07.028
- Khan, M., Al-Mamun, M., Halder, P., & Aziz, M. (2017). Performance improvement of modified dye-sensitized solar cells. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 71, 602-617. doi: 10.1016/j.rser.2016.12.087
- Babar, F., Mehmood, U., Asghar, H., Mehdi, M., Khan, A., & Khalid, H. et al. (2020). Nanostructured photoanode materials and their deposition methods for efficient and economical third generation dye-sensitized solar cells: A comprehensive review. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 129, 109919. doi: 10.1016/j.rser.2020.109919
- Mustafa, M., & Sulaiman, Y. (2021). Review on the effect of compact layers and light scattering layers on the enhancement of dye-sensitized solar cells. *Solar Energy*, 215, 26-43. doi: 10.1016/j.solener.2020.12.030
- Sharma, K., Sharma, V., & Sharma, S. (2018). Dye-Sensitized Solar Cells: Fundamentals and Current Status. *Nanoscale Research Letters*, 13(1). doi: 10.1186/s11671-018-2760-6
- Sima, C, et al (2010). Comparison of the dye-sensitized solar cells performances based on transparent conductive ITO and FTO. *Journal Thin Solid Films*, vol 519 : pg 595 - 597. DOI :10.1016/j.tsf.2010.07.002.
- Mozaffari, Samaneh; Nateghi, Mohammad Reza; Zarandi, Mahmood Borhani (2017). An overview of the Challenges in the commercialization of dye sensitized solar cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71(), 675–686. doi:10.1016/j.rser.2016.12.096
- J. M. Kroon; N. J. Bakker; H. J. P. Smit; P. Liska; K. R. Thampi; P. Wang; S. M. Zakeeruddin; M. Grätzel; A. Hinsch; S. Hore; U. Würfel; R. Sastrawan; J. R. Durrant; E. Palomares; H. Pettersson; T. Gruszecki; J. Walter; K. Skupien; G. E. Tulloch (2007). Nanocrystalline dye-sensitized solar cells having maximum performance. , 15(1), 1–18. doi:10.1002/pip.707
- Hua, Yong; Chang, Shuai; Huang, Dandan; Zhou, Xuan; Zhu, Xunjin; Zhao, Jianzhang; Chen, Tao; Wong, Wai-Yeung; Wong, Wai-Kwok (2013). Significant Improvement of Dye-Sensitized Solar Cell Performance Using Simple Phenothiazine-Based Dyes. *Chemistry of Materials*, 25(10), 2146–2153. doi:10.1021/cm400800h
- Liang, Mao; Xu, Wei; Cai, Fengshi; Chen, Peiquan; Peng, Bo; Chen, Jun; Li, Zhengming (2007). New Triphenylamine-Based Organic Dyes for Efficient Dye-Sensitized Solar Cells. *The Journal of Physical Chemistry C*, 111(11), 4465–4472. doi:10.1021/jp067930a
- (Coumarine) Hara, Kohjiro; Kurashige, Mitsuhiko; Dan-oh, Yasufumi; Kasada, Chiaki; Shinpo, Akira; Suga, Sadaharu; Sayama, Kazuhiro; Arakawa, Hironori (2003). Design of new coumarin dyes having thiophene moieties for highly efficient organic-dye-sensitized solar cells., 27(5), 783–785. doi:10.1039/b300694h
- (Indoline) S. Ito; S. M. Zakeeruddin; R. Humphry-Baker; P. Liska; R. Charvet; P. Comte; M. K. Nazeeruddin; P. Péchy; M. Takata; H. Miura; S. Uchida; M. Grätzel (2006). High-Efficiency Organic-Dye-Sensitized Solar Cells Controlled by Nanocrystalline-TiO<sub>2</sub> Electrode Thickness. , 18(9), 1202–1205. doi:10.1002/adma.200502540
- (Zn Porphyrins) Wang, Chin-Li; Chang, Yu-Cheng; Lan, Chi-Ming; Lo, Chen-Fu; Wei-Guang Diao, Eric; Lin, Ching-Yao (2011). Enhanced light harvesting with  $\pi$ -conjugated cyclic aromatic hydrocarbons for porphyrin-sensitized solar cells. *Energy & Environmental Science*, 4(5), 1788–. doi:10.1039/c0ee00767f

- (Black Dye) Polo, A. S., Itokazu, M. K., & Murakami Iha, N. Y. (2004). Metal complex sensitizers in dye-sensitized solar cells. *Coordination Chemistry Reviews*, 248(13-14), 1343–1361. doi:10.1016/j.ccr.2004.04.013
- (Z910) Kuang, Daibin; Ito, Seigo; Wenger, Bernard; Klein, Cedric; Moser, Jacques-E; Humphry-Baker, Robin; Zakeeruddin, Shaik M.; Grätzel, Michael (2006). High Molar Extinction Coefficient Heteroleptic Ruthenium Complexes for Thin Film Dye-Sensitized Solar Cells. *Journal of the American Chemical Society*, 128(12), 4146–4154. doi:10.1021/ja058540p
- Baxter, Jason B. (2012). Commercialization of dye sensitized solar cells: Present status and future research needs to improve efficiency, stability, and manufacturing. *Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films*, 30(2), 020801–. doi:10.1116/1.3676433

Referensi dari Website:

- Matahari Untuk PLTS di Indonesia. (2021). Retrieved 7 March 2021, from <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/matahari-untuk-plts-di-indonesia#:~:text=Potensi%20energi%20surya%20di%20Indonesia,adalah%20sebesar%200.87%20GW%20atau>