

Analisa Potensi Gugus *Hydroxyl* Pada Limbah Cair Kelapa Sawit (*Palm Oil Mill Effluent*) Sebagai Pewarna *Dye-Sensitized Solar Cell*

Ananda Sholeh Rifky Hakim¹, Muhammad Yudatama Perdana¹, Untung Riyadi¹, Fahru Nurosyid¹

¹Program Studi Fisika, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.

Corresponding author: fahrunurosyid@staff.uns.ac.id

Abstrak. *DSSC* adalah sel surya generasi ketiga sebagai pengganti sel surya konvensional berbahan silikon karena fabrikasi yang mudah dan murah. Salah satu komponen yang penting dalam *DSSC* adalah *dye* (pewarna pensensitasi) karena perannya dalam transfer elektron. *Dye* yang paling umum digunakan adalah ruthenium kompleks yang menghasilkan efisiensi tinggi namun berharga mahal dan terbatas. Pewarna alami dapat digunakan sebagai alternatif pengganti dari ruthenium kompleks karena harga yang murah, ramah lingkungan dan melimpah. *Palm Oil Mill Effluent (POME)* sebagai material organik limbah cair kelapa sawit yang masih belum banyak dimanfaatkan. Studi ini membahas potensi pemanfaatan *Palm Oil Mill Effluent* sebagai *dye* pada *DSSC* sehingga menjadi material yang berdaya guna. Kandungan *POME* melalui uji *Fourier Transform Infra Red (FTIR)* pada penelitian yang telah dilakukan dibandingkan dengan uji *Fourier Transform Infra Red (FTIR)* pada penelitian *dye* alami yang berasal dari tumbuhan dengan memperhatikan ikatan gugus beserta parameter kinerja sel surya. Hasil tersebut menunjukkan peluang (*POME*) sebagai *dye* (pewarna pensensitasi) pada *DSSC*.

1. Pendahuluan

Setiap tahun isu-isu yang berkaitan dengan pencarian sumber energi terbarukan, serta transisi ke produksi ramah lingkungan menjadi semakin relevan. Solusi untuk masalah kebutuhan listrik yang terus meningkat tanpa dampak lingkungan yang signifikan dapat ditemukan melalui penggunaan sumber energi alternatif. Saat ini, sebagian besar sumber energi terbarukan dicirikan baik oleh potensi yang terbatas atau terkait dengan kesulitan dalam pengembangannya, yang mempertanyakan kelayakannya dari sudut pandang ekonomi. Radiasi matahari adalah sumber energi yang hampir tidak ada habisnya dan ramah lingkungan [1]. Salah satu perangkat yang menjanjikan di bidang ini adalah *dye sensitized solar cell (DSSC)*, studi ekstensif yang dimulai dengan penelitian Grätzel pada tahun 1991 [2]. *DSSC* adalah salah satu fotovoltaik generasi ke-3 yang paling cepat dikomersialkan karena efisiensi konversi yang tinggi, stabilitas yang sangat baik, dan proses fabrikasi yang mudah di udara sekitar [3]. Bagian-bagian utama pada *DSSC* adalah lapisan elektroda semikonduktor (fotoanoda) yang terdiri dari kaca *FTO (Fluorine-doped Tin Oxide)*, lapisan tipis semikonduktor oksida, *dye* atau pewarna pensensitasi, elektrolit, serta elektroda lawan atau katoda. *Dye* merupakan unsur yang penting karena berperan secara langsung pada penyerapan cahaya, produksi fotoelektron dan transfer elektron [4]. Baru-baru ini, *dye* alami telah diselidiki secara menyeluruh karena penyerapannya yang besar pada spektrum yang terlihat, kelimpahan di alam, persiapan sampel yang mudah, biaya produksi yang rendah, dan ramah lingkungan. Terlepas dari ketersediaan dan biaya rendah dari *dye* alami, namun kebanyakan *dye* alami tidak menghasilkan nilai efisiensi konversi energi lebih dari 2% [5]. Pewarna tanaman berfungsi sebagai pensensitasi, yang menyerap sinar matahari dan mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Sampai saat ini, beberapa pewarna tanaman alami telah digunakan sebagai pensensitasi *DSSC*, seperti manggis, kumarin, sianin, ekstrak pewarna lobak merah, *Callindra haematophata*, *Luffa cylindra L.*, bunga *Amaranthus caudatus*, *Rose bengal*, dan karoten. Efisiensi konversi pewarna tumbuhan alami dilaporkan berkisar antara 0,03–2,09% [6]. Logam kompleks khususnya ruthenium kompleks menunjukkan efisiensi konversi yang tinggi tetapi senyawa ini merupakan logam langka. Logam kompleks lain yang dapat dijadikan sebagai pengganti dan



berjumlah banyak adalah seperti Fe, Co, Cu. *Dithizone* dan logam *dithizone* asam *gallic* kompleks digunakan sebagai *dye* karena *dithizone* dan logam kompleks mempunyai sifat penyerapan cahaya yang tinggi [7]. *Palm Oil Mill Effluent (POME)* mengandung logam dengan tingkat kristis seperti besi (Fe), zink (Zn), dan mangan (Mn) [8]. Ekstrak *POME* memiliki potensi untuk digunakan sebagai *dye* pada *DSSC* karena mengandung logam kompleks. Dalam penelitian yang dilakukan [9] diperoleh data dan analisis uji *FTIR (Fourier Transform Infra Red) POME*. Dalam penelitian yang dilakukan oleh [6] diperoleh data dan analisis uji *FTIR* dan kinerja *DSSC* dengan *dye* ekstrak etanol *Aloe vera* dan kaktus. Artikel ilmiah pada studi ini mempelajari kandungan dari *POME* dan *dye* yang telah diujicobakan pada *DSSC* beserta parameter kinerja sel surya sehingga mengarah pada potensi pemanfaatan *POME* sebagai pewarna *dye sensitized solar cell*.

2. Metode Penelitian

2.1. Materi

2.1.1. Prinsip Operasional DSSC

Sistem *DSSC* terdiri dari: anoda transparan yang terbuat dari lembaran kaca yang diberi sebuah lapisan oksida konduktif transparan. Lapisan oksida mesopori (biasanya, TiO_2) diendapkan pada anoda untuk mengaktifkan konduksi elektronik. Pewarna transfer muatan lapisan tunggal yang terikat secara kovalen ke permukaan lapisan oksida mesopori untuk meningkatkan penyerapan cahaya. Elektrolit yang mengandung mediator redoks dalam pelarut anorganik yang mempengaruhi regenerasi pewarna. Katoda yang terbuat dari lembaran kaca yang dilapisi dengan katalis (biasanya, platina) untuk memfasilitasi pengumpulan elektron. Ketika terpapar oleh sinar matahari *dye* (pewarna pensensitasi) tereksitasi, dimana elektron diinjeksikan ke dalam pita konduksi dari film oksida mesopori. Elektron yang dihasilkan ini berdifusi ke anoda dan digunakan pada beban eksternal sebelum dikumpulkan oleh elektrolit pada permukaan katoda untuk menyelesaikan siklus [10].

2.1.2. Fourier Transform Infra Red (FTIR)

FTIR adalah teknik yang telah digunakan secara luas dalam analisis bahan polimer. Dengan mengidentifikasi karakteristik pita serapan dari berbagai unit struktural, identitas ketidaksempurnaan organik dapat ditentukan [11]. Spektroskopi *FTIR* menjadi metode analisis non destruktif modern yang semakin sering digunakan untuk penjelasan struktur dan kuantifikasi berbagai macam sampel organik, anorganik, dan biologis. Dua keuntungan utama dari spektroskopi inframerah (*IR*) adalah sampel yang dianalisis tidak mengalami perlakuan kimia apapun sehingga menghindari reaksi sekunder dan semua senyawa yang ada dalam sampel diukur secara bersamaan, sehingga menyederhanakan serta mempercepat analisis [12].

2.1.3. Palm Oil Mill Effluent (POME)

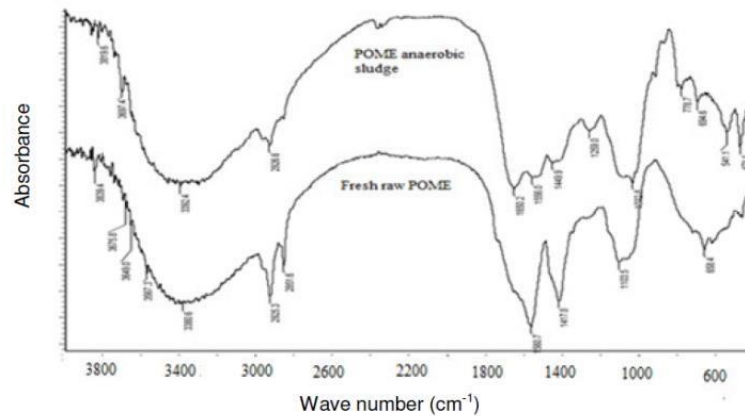
Palm oil mill effluent (POME) merupakan limbah cair dari pemrosesan minyak sawit. *POME* mengandung 95-96 % air, 0,6-0,7 % minyak dan 4-5% padatan. Tidak ada tambahan zat kimia ketika produksi minyak sawit sehingga merupakan limbah tak beracun. *POME* mengandung logam dengan tingkat kristis seperti besi (Fe), zink (Zn), dan mangan (Mn) (11). Parameter pH dari *palm oil mill effluent* bernilai 4,2 [13].

2.2. Metode

Penyusunan artikel ilmiah dilakukan dengan pemaparan data sekunder yang didapatkan dari beberapa jurnal pada *database* jurnal seperti *Science Direct* atau *google scholar*. Data sekunder metode *FTIR* dari *POME* diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan [9] yang berjudul *Evaluation of pressed shredded empty fruit bunch (EFB)-palm oil mill effluent (POME) anaerobic sludge based compost using fourier transform infrared (FTIR) and nuclear magnetic resonance (NMR) analysis*. Absorbansi utama dari spektrum inframerah (*IR*) dari endapan *POME* anaerobic juga dipaparkan pada jurnal tersebut. Pada penelitian lain digunakan data sekunder spektrum *FTIR dye* pewarna alami tumbuhan *Aloe vera* dan kaktus dari penelitian yang dilakukan oleh [6] pada jurnal penelitian berjudul *Dye-sensitized solar cells using Aloe Vera and Cladode of Cactus extracts as natural sensitizers*. Penelitian [6] juga mencakup data sekunder parameter kinerja *DSSC* dari *dye Aloe vera* dan kaktus seperti rapat arus *short circuit (Jsc)*, tegangan *open circuit (Voc)*, *fill factor* dan efisiensi konversi (η).

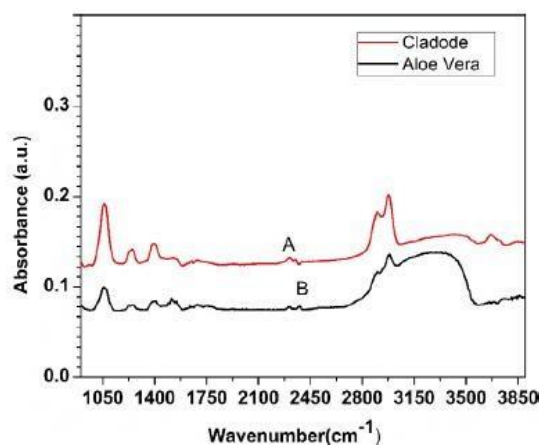
Dapat diketahui dari ulasan pada penelitian yang dilakukan oleh [9] dan [6] berupa analisa gugus fungsi pada *POME* serta *dye Aloe vera* dan kaktus.

3. Hasil dan Diskusi



Gambar 1. Analisis *FTIR* dari bahan mentah *POME* dan endapan anaerobik *POME* [9].

Analisis *Fourier Transform Infra Red (FTIR)* dilakukan untuk mengevaluasi spektrum inframerah yang menunjukkan kandungan kimia dari suatu bahan dan sampel komposit. Spektrum *FTIR* dari bahan mentah *POME* dan endapan anaerobik *POME* ditunjukkan gambar 1 [9]. Absorbansi utama dari spektrum inframerah (*IR*) dari endapan *POME anaerobic* terdeteksi puncak absorbansi pada angka gelombang sekitar 1033 cm^{-1} . Pada penelitian lain puncak absorbansi terdeteksi pada angka gelombang sekitar 1030 dan 1260 cm^{-1} [14]. Spektrum *IR* dari bahan mentah *POME* memiliki pita serapan pada 2925 dan 2855 cm^{-1} hal tersebut dikaitkan dengan gugus *aliphatic methylene* [12]. Pita serapan yang dikaitkan pada gugus *hydroxyl* dan air dalam bahan mentah *POME* dan endapan *POME anaerobic* dideteksi pada 3400 cm^{-1} [9].



Gambar 2. *FTIR* ekstrak etanol dari *dye* : (A) *Opuntia ficus-indica* (kaktus) (B) *Aloe barbadensis miller* (*Aloe Vera* gel) [6].

Sementara seperti yang ditunjukkan pada gambar 2, terlihat data yang terletak pada rentang 2800 sampai 3500 cm^{-1} , menunjukkan puncak absorbansi yang berkaitan dengan adanya gugus fungsional *hydroxyl* terletak pada angka gelombang 3300 cm^{-1} yang baik untuk ekstrak *Aloe vera* ataupun ekstrak kaktus. Gugus *carbonyl* termasuk gugus fungsional *ester estate* (C-O-C) tampak pada kisaran 1050 cm^{-1} untuk kedua jenis *dye* (pewarna pensensitasi). Puncak absorbansi juga dapat diamati dengan

menggunakan spektrum *FTIR* pada rentang angka gelombang 1220 sampai 1600 cm^{-1} yang mana berkaitan dengan gugus ikatan C-O pada sekitar 1250 cm^{-1} dan sekitar 1380 cm^{-1} berkaitan dengan gugus fungsional *methyl* (CH_3) [15]. Penelitian lain menunjukkan serapan kimiawi *dye* pada permukaan nano struktur dari TiO_2 terjadi karena adanya gugus ikatan *hydroxyl* (-OH), ester, dan *carbonyl* (C=O) dalam *dye* yang berasal dari tanaman [6]. Menurut [6] terdapat gugus fungsional *methyl* pada uji *FTIR* ekstrak *dye* dengan penambahan larutan etanol sementara uji *FTIR POME* menunjukkan adanya gugus *aliphatic methylene*. *Palm Oil Mill Effluent (POME)* juga terdeteksi mengandung gugus *hydroxyl* (-OH) yang mana gugus fungsional tersebut juga terkandung dalam ekstrak *Aloe vera* maupun ekstrak kaktus serta berkaitan dengan serapan kimiawi *dye* pada permukaan nanopartikel semikonduktor oksida TiO_2 [6]. Diperoleh pula parameter kinerja *DSSC* ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter fotoelektrokimia dari *DSSC* pensensitasi *dye* alami yang diekstraksi dengan etanol [6]

Natural dye	J_{sc} (mA cm^{-2})	V_{oc} (V)	FF (%)	η (%)
Claode	0.241	0.642	48.0	0.740
Aloe Vera	0.112	0.676	50.4	0.380
Claode and Aloe Vera (side-by-side)	0.290	0.440	40.1	0.500

Fotoanoda TiO_2 nanokristal (15 nm, anatase) yang dilapiskan pada kaca FTO (2,5cmx5,0cmx0,22cm) digunakan pada penelitian [6] dengan lapisan aktif seluas 3,23 cm^2 dan ketebalan $\text{TiO}_2 \pm 60 \mu\text{m}$. Perlakuan pemanasan fotoanoda dilakukan pada 80°C selama 5 menit dilanjutkan 400°C selama 15 menit. Penelitian tersebut dilakukan perendaman dengan ekstrak *dye* etanol *cladode* dan *Aloe vera gel* selama 24 jam. Lapisan karbon digunakan sebagai elektroda lawan *DSSC* dan larutan elektrolit yang terdiri dari 0,5 M kalium iodida, 0,5 M yodium, air, dan etilen glikol. *Fill factor* dari *DSSC* tersebut memiliki nilai lebih dari 40%, nilai V_{oc} (tegangan *open circuit*) dalam rentang 0.440 sampai 0.676 V dan J_{sc} (rapat arus *short circuit*) memiliki nilai pada rentang 0.112 sampai 0.290 mA/cm^2 . *DSSC* dengan *dye* (pewarna pensensitasi) ekstrak etanol kaktus menunjukkan nilai efisiensi konversi yang signifikan yaitu 0.740% dibandingkan dengan *Aloe vera* 0.380%. Efisiensi konversi dengan kombinasi kedua *dye* tersebut (*side-by-side configuration*) diperoleh yaitu 0.5% [6]. Ekstrak tanaman kaktus memiliki efisiensi yang lebih tinggi dimungkinkan karena rentang lebar dari serapan cahaya ekstrak tersebut yang terserap pada lapisan TiO_2 yang mana mirip dengan tanaman alami yang menyerap cahaya. Alasan lainnya adalah adanya variasi gugus ikatan yang terdapat pada *dye* antosianin dan klorofil yang memberikan transfer elektron dari *dye* ke TiO_2 [16].

4. Kesimpulan

Uji *Fourier Transform Infra Red (FTIR)* diperoleh kandungan *Palm Oil Mill Effluent (POME)* yang mirip dengan *dye* ekstrak *Aloe vera* dan kaktus dengan penambahan etanol sebagai pewarna *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* karena memiliki kandungan gugus *hydroxyl* antara keduanya. Diperoleh pula parameter *DSSC* berbahan *dye* alami tumbuhan yakni efisiensi konversi sebesar 0,380 % dan 0,740 % , nilai rapat arus *short circuit* (J_{sc}) sebesar 0.112 mA cm^{-2} dan 0.241 mA cm^{-2} , tegangan *open circuit* (V_{oc}) sebesar 0.676 V dan 0.642 V dan *fill factor (FF)* sebesar 50.4 % dan 48 % masing-masing untuk ekstrak etanol *Aloe vera* dan kaktus. Berdasarkan hasil perbandingan tersebut menunjukkan adanya potensi pemanfaatan *Palm Oil Mill Effluent (POME)* sebagai *dye* (pewarna pensensitasi) pada *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*.

5. Referensi

- [1] Ezhov, A. V., Aleksandrov, A. E., Zhdanova, K. A., Zhdanov, A. P., Klyukin, I. N., Zhizhin, K. Y. 2020. Synthesis of Zn(II) porphyrin dyes and revealing an influence of their alkyl substituents on performance of dye-sensitized solar cells. *Synth Met* 269:116567.

- [2] Kumara N., T., R., N., Lim, A., Lim, C., M., Petra, M., I., Ekanayake, P. 2017. Recent progress and utilization of natural pigments in dye sensitized solar cells: A review. *Renew Sustain Energy*. 78: 301
- [3] Tedla, A., Tai, Y. 2018. Influence of binary solvent system on the stability and efficiency of liquid dye sensitized solar cells. *J Photochem Photobiol A Chem*. 358: 70–5.
- [4] Al-alwani, M., A., M., Bakar, A., Ludin, N., A., Amir, A., Kadhun, H., Sopian, K. 2016. Dye-sensitized solar cells : Development , structure , operation principles , electron kinetics , characterisation , synthesis materials and natural photosensitisers. *Renew Sustain Energy Rev*. 65: 183–213.
- [5] Jalali, T. Arkian, P., Golshan, M., Jalali, M., Osfour, S. 2020. Performance evaluation of natural native dyes as photosensitizer in dye-sensitized solar cells. *Opt Mater*. 110: 110441.
- [6] Ganta, D. Jara, J., Villanueva, R. 2017. Dye-sensitized solar cells using Aloe Vera and Cladode of Cactus extracts as natural sensitizers. *Chem Phys Lett*. 679: 97–101.
- [7] Ünlü, B. Çakar, S., Özacar, M. 2018. The effects of metal doped TiO₂ and dithizone-metal complexes on DSSCs performance. *Sol Energy*. 166: 441–9.
- [8] Shavandi, M. A., Haddadian, Z. Ismail, M., H., S., Abdullah, N., Abidin, Z., Z. 2012. Removal of Fe(III), Mn(II) and Zn(II) from palm oil mill effluent (POME) by natural zeolite. *J Taiwan Inst Chem Eng*. 43(5):750–9.
- [9] Baharuddin, A. S., Rahman, N. A. A., Shah, U. K. M., Hassan, M. A., Wakisaka, M., & Shirai, Y. 2011. Evaluation of pressed shredded empty fruit bunch (EFB)-palm oil mill effluent (POME) anaerobic sludge based compost using fourier transform infrared (FTIR) and nuclear magnetic resonance (NMR) analysis. *African Journal of Biotechnology*. 10(41): 8082–8089.
- [10] Gong, J., Liang J., Sumathy, K. 2012. Review on dye-sensitized solar cells (DSSCs): Fundamental concepts and novel materials. *Renew Sustain Energy Rev*. 16(8): 5848–60.
- [11] Chen, J. X., Zhong, Z. X., Su, Z. H., Li, Z. P., Weng, Z. F., Luo, S. Y. 2020. Analysis of Defects in Biaxially Oriented Polypropylene Films by Micro-Fourier Transform Infrared and Raman Spectroscopies. *Chinese J Anal Chem*. 48(10): 4–8.
- [12] Grube, M., Lin, J. G., Lee, P. H., Kokorevicha, S. 2006. Evaluation of sewage sludge-based compost by FT-IR spectroscopy. *Geoderma*. 130(3–4): 324–33.
- [13] Ma, A. N. 2000. Environment management for the palm oil industry. *Palm Oil Develop*. 30 110.
- [14] Matías, M. C., De La Orden, M. U., Sánchez, C. G., & Urreaga, J. M. 2000. Comparative spectroscopic study of the modification of cellulosic materials with different coupling agents. *Journal of Applied Polymer Science*. 75(2): 256–266.
- [15] Singh, L. K., Karlo, T., & Pandey, A. 2014. Performance of fruit extract of *Melastoma malabathricum* L. as sensitizer in DSSCs. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 118: 938–943.
- [16] Maurya, I. C., Neetu, Gupta, A. K., Srivastava, P., & Bahadur, L. 2016. *Callindra haematocephata* and *Peltophorum pterocarpum* flowers as natural sensitizers for TiO₂ thin film based dyesensitized