

REVIEW: SISTEM *DYE-SENSITIZED SOLAR CELL* TERKOMBINASI DENGAN *ORGANIC LIGHT-EMITTING DIODE* SEBAGAI SUMBER PENERANGAN BERBASIS *GREEN CHEMISTRY*

M. Al Rizqi Dharma Fauzi¹, Ari Hasna Widyapuspa², Harsasi Setyawati¹

Universitas Airlangga¹
m.al.rizki.dharma.f-12@fst.unair.ac.id
Universitas Kristen Satya Wacana²

Abstrak

Krisis energi merupakan masalah besar yang sedang dihadapi dunia saat ini. Persediaan energi tidak terbarukan semakin berkurang sedangkan kebutuhan energi semakin meningkat setiap tahun. *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) merupakan salah satu alternatif sumber energi terbarukan yang dapat mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik. Bersama *Organic Light Emitting Diode* (OLED) pada *paper* ini, akan dibahas sistem kombinasi DSSC dan OLED agar dihasilkan sebuah sistem penerangan berbasis *green chemistry*. Mekanisme kerja DSSC dan OLED terlebih dahulu dibahas pada *paper* ini untuk menentukan komponen – komponen terbaik dalam pembuatannya. Pewarna Ni(II)-Porfirin-Fluorena disarankan sebagai material pewarna dalam DSSC. Kompleks Ni(II)-Porfirin-Fluorena dipilih berdasarkan efisiensinya yang baik, preparasinya yang mudah, dan harga preparasi yang murah. Porfirin-Fluorena tanpa Ni(II) disarankan untuk digunakan sebagai material *emissive layer* dalam OLED. Komponen – komponen lainnya seperti material transparan, katoda, anoda, *hole transport layer*, *electron transport layer*, dan elektrolit juga dibahas didalam *paper* ini untuk mendukung terwujudnya sumber penerangan berbasis *green chemistry*.

Kata Kunci: DSSC, OLED, *green chemistry*, porfirin, fluorena

1. Pendahuluan

Krisis energi merupakan masalah besar yang sedang dihadapi dunia saat ini. Persediaan energi tidak terbarukan semakin berkurang sedangkan kebutuhan energi semakin meningkat setiap tahun. Di Indonesia, krisis energi yang terjadi dapat dilihat dari pemadaman listrik bergilir di beberapa daerah untuk menghemat energi yang tersisa.

Permasalahan di atas mendorong banyak peneliti untuk mengembangkan teknologi yang menghasilkan energi terbarukan. *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) merupakan salah satu alternatif sumber energi terbarukan yang dapat mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik. Sel DSSC dibuat pertama kali oleh Grätzel pada tahun 1991. Aplikasi DSSC dengan menggunakan *dye* sebagai penangkap cahaya matahari sangat potensial dikembangkan karena DSSC dapat menghasilkan energi listrik dan aplikasinya diterapkan dalam kehidupan.

Sel DSSC banyak dikembangkan karena memiliki efisiensi tinggi, sifatnya yang mudah diperbaharui, tidak memerlukan material dengan kemurnian tinggi, biaya produksi rendah, serta proses produksi yang ramah lingkungan. Prinsip

kerja DSSC adalah reaksi transfer elektron dari komponen – komponennya sehingga terjadi proses konversi cahaya matahari menjadi energi listrik.

Organic Light Emitting Diode (OLED) merupakan senyawaan organik yang dapat memancarkan cahaya apabila diberikan arus listrik. OLED tidak membutuhkan beda potensial yang besar untuk dioperasikan. Keuntungan dari OLED adalah: tidak memerlukan material dengan kemurnian tinggi, biaya produksi rendah, dan berbasis senyawa organik.

Pada *paper* ini, akan dibahas mekanisme kerja DSSC dan OLED. Akan dibahas pula senyawaan Porfirin dan Fluorena. Kedua hal tersebut dibahas untuk mendapatkan sistem kombinasi DSSC dan OLED agar dihasilkan sebuah sistem penerangan berbasis *green chemistry*.

2. Studi Literatur

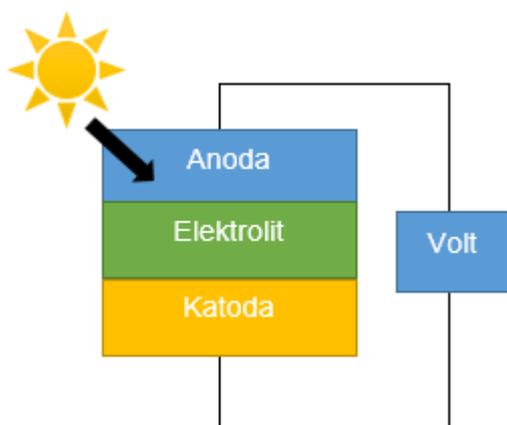
2.1 Pengenalan Sel Surya

Sel surya (*solar cell*) adalah sebuah alat yang dapat mengkonversi energi cahaya menjadi

energi listrik. Keberadaan sel surya sangat bermanfaat bagi umat manusia karena kebutuhan akan energi listrik menjadi sangat penting di zaman modern ini. Sel surya konvensional yang masih digunakan hingga saat ini terbuat dari bahan utama silikon (Duran *et al.*, 1991). Penggunaan material semikonduktor akan melibatkan reaksi – reaksi yang menghasilkan produk tidak diinginkan seperti gas berbahaya yang dapat mempengaruhi kesehatan manusia (Moskowitz *et al.*, 2000). Sel surya berbahan utama silikon juga memerlukan biaya yang tidak murah. Meskipun terdapat beberapa kekurangan, sel surya tentunya sangat dibutuhkan mengingat persediaan bahan bakar fosil Bumi yang semakin menipis dan memberikan kontribusi besar bagi efek rumah kaca.

Kegunaan dan keuntungan sel surya menjadikan sistem ini sebuah pembangkit listrik yang sangat populer. Data dari *State of World* dari Worldwatch Institute menunjukkan bahwa pada tahun 2009, matahari menghasilkan energi sebesar $1,6 \times 10^{21}$ J. Energi ini sudah cukup bahkan untuk memenuhi prediksi kebutuhan energi hingga tahun 2050 (Chu *et al.*, 2011).

Konsep sel surya memanfaatkan *photovoltaic effect* (Copeland *et al.*, 1941) adalah dengan adanya penyerapan foton matahari oleh material yang memiliki lapisan negatif (*n-layer*) dan lapisan positif (*p-layer*) (Tress, W. *et al.*, 2014). Lapisan negatif merupakan lapisan dengan densitas elektron yang besar. Dalam kata lain, jumlah total elektron merupakan representasi dari muatan lapisan. Sedangkan pada lapisan positif, terdapat *hole electron* dalam densitas yang besar. *Hole electron* merupakan wilayah suatu material yang mengalami defek elektron sehingga mengemban muatan positif pada wilayah tersebut. Gambar 1 berikut menunjukkan skema kerja dari sel surya *photovoltaic*:



Gambar 1. Skema Sel Surya Photovoltaic

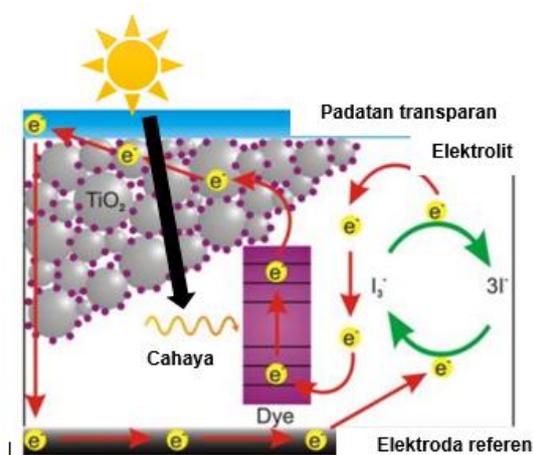
2.2 Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)

Sel surya generasi pertama adalah sel surya berbasis silikon. Sel surya ini memiliki efisiensi tinggi dalam mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik. Namun, sel ini menghasilkan gas beracun sehingga penggunaannya dibatasi. *Thin film solar cell* merupakan sel surya generasi kedua. Namun, sel surya ini memiliki efisiensi rendah dan menggunakan bahan – bahan berbahaya. Sel surya generasi ketiga adalah DSSC dan sel surya generasi keempat adalah sel surya berbahan nanopartikel. Sayangnya, penggunaan bahan nanopartikel membutuhkan biaya mahal (Giribabu *et al.*, 2012).

Keberadaan sel surya konvensional yang terdiri dari semilogam (Blank *et al.*, 2015) ataupun zat anorganik lainnya (Chu *et al.*, 2011) sulit untuk dipreparasi dan membutuhkan biaya yang tidak sedikit. Ilmuwan mendapatkan tantangan untuk menciptakan sel surya yang murah dan mudah dipreparasi. DSSC merupakan salah satu solusi yang meyakinkan untuk mengatasi kekurangan sel surya yang ada selama ini. Kebanyakan senyawa organik memiliki biokompabilitas yang lebih baik daripada logam ataupun semilogam. Senyawa organik dapat disintesis berulang kali, tidak seperti logam atau semilogam yang perlu dipreparasi dari mineral. Kelebihan – kelebihan yang telah dipaparkan tersebut menjadi pertimbangan penting dalam pembuatan komponen material berbasis *green chemistry*.

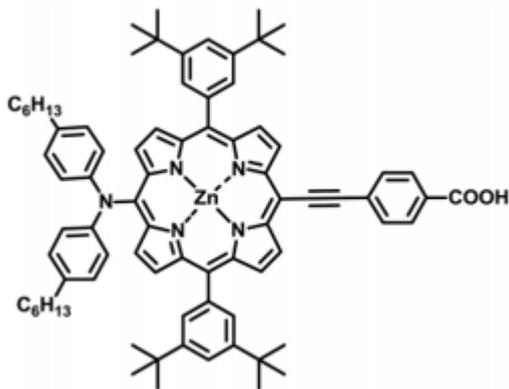
Konsep dari DSSC adalah dengan memanfaatkan senyawaan *dye* (pewarna) sebagai penangkap foton dari matahari yang kemudian dialirkan kepada sebuah anoda. Kemudian elektron mengalir dari anoda ke katoda melalui media elektrolit sehingga menghasilkan arus listrik tertentu (Wong, W-Y., 2009).

Konsep penggunaan pewarna adalah sebagai material peka cahaya (*sensitizer*). Sifat ini muncul dari keberadaan gugus kromofor senyawa organik. Pada saat cahaya matahari memasuki sistem, akan terbentuk keadaan tereksitasi elektron pada pewarna yang menyebabkan elektron memasuki pita konduksi semikonduktor (Wong, W-Y., 2009). Aliran elektron dikendalikan oleh keberadaan elektrolit sebagai penyeimbang muatan sistem DSSC (Chu *et al.*, 2011). Gambar 2 berikut menunjukkan skema kerja DSSC:



Gambar 2. Skema Kerja DSSC (Chu *et al.*, 2011)

Beberapa penelitian untuk mencari kombinasi material yang efektif pada DSSC telah dilakukan. Salah satunya adalah percobaan yang dilakukan oleh Yella bersama rekan pada tahun 2011. Mereka mempreparasi kompleks Seng-Porfirin sebagai pewarna untuk menangkap foton. Percobaan ini menghasilkan efisiensi DSSC sebesar 12%. Adapun struktur molekul kompleks seng-porfirin ditunjukkan oleh Gambar 3 dibawah.

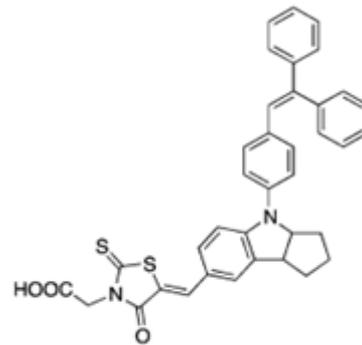


Gambar 3. Struktur Molekul Seng-Porfirin (Yella *et al.*, 2011).

Penelitian lainnya mengenai penggunaan pewarna sintetik sebagai *dye* untuk DSSC dilakukan oleh Robertson bersama rekan pada tahun 2014. Mereka mensintesis beberapa senyawaan kompleks tembaga(I) bipiridina sebagai media sensitif cahaya untuk sel surya jenis DSSC. Pada penelitian ini, DSSC menghasilkan efisiensi konversi sebesar 0,41 %.

Selain meneliti material pewarna, pencarian komponen penyusun DSSC lainnya juga perlu dilakukan. Salah satu fenomena yang dapat dihasilkan oleh sel DSSC adalah sifat fotoluminasinya. Percobaan Robertson bersama rekan menunjukkan bahwa material *hole transport* yang telah mereka preparasi dapat memendarkan cahaya pada rentang panjang

gelombang cahaya tampak (400 – 800 nm) (Robertson *et al.*, 2013). Robertson berhasil mensintesis material *hole transport* dari trifenilamina terjemptani dengan diasetilena. Material ini berguna dalam penggantian penggunaan elektrolit pada DSSC. Struktur material *hole transport* yang disintesis oleh Robertson bersama rekan ditunjukkan pada Gambar 4.



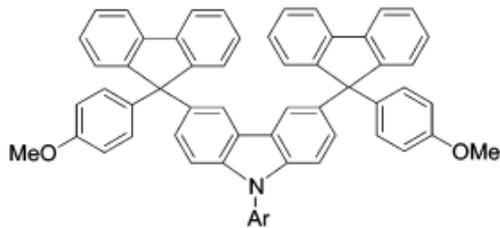
Gambar 4. Struktur Material Hole Transport Electron (Robertson *et al.*, 2013)

Robertson bersama rekan pada tahun 2014 juga melakukan riset pengembangan dalam pembuatan DSSC dengan elektroda organik baik pada sisi anoda maupun katodanya. Mereka melaporkan bahwa senyawa sianoakrilat dengan tambahan gugus fungsi pada ujung senyawa berupa oligo(3-heksiltiofena) akan menghasilkan tegangan *open circuit* (V_{oc}) tanpa keberadaan gugus pendonor elektron.

2.3 Organic Light-Emitting Diode (OLED)

OLED pada dasarnya memiliki konsep yang sama dengan LED biasa yang dijual di pasaran. Namun, perbedaan utamanya terletak pada bahan pembuatan LED, yaitu senyawaan organik. Sempat saat ini, telah banyak dilakukan pengembangan OLED seperti pada pengembangan layar TV dan *Handphone*.

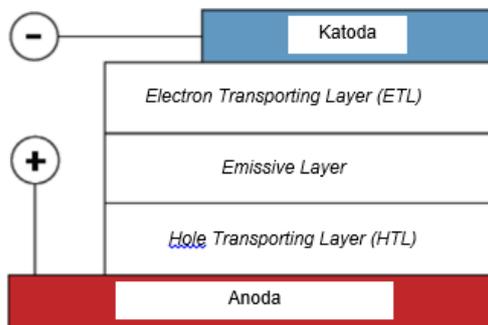
Penggunaan OLED sangat menguntungkan karena emisi cahayanya yang memiliki efisiensi hampir 100% (Adachi *et al.*, 2001). Sintesis OLED telah dilakukan oleh banyak ilmuwan. Beberapa diantaranya adalah sintesis karbazola terkonjugasi dengan fluorena (Wong *et al.*, 2002), polifluorena yang dikombinasikan dengan kompleks iridium siklis (Chen *et al.*, 2002), dan diazafluorena tersubstitusi karbazola (Wong *et al.*, 2005). Struktur diazafluorena tersubstitusi karbazola yang dikembangkan oleh Wong bersama rekan (2005) ditunjukkan pada Gambar 5 dibawah.



Gambar 5. Difluorena Tersubstitusi dengan Karbazola (DFC)

Kemampuan fluoresensi dari senyawa organik tersebut menjadi faktor utama penciptaan sebuah OLED. Percobaan yang dilakukan oleh Wong bersama rekan pada tahun 2005 menunjukkan bahwa DFC cocok sebagai material yang dapat mengemisikan cahaya pada panjang gelombang di atas 490 nm (Hijau hingga merah).

Adapun prinsip kerja dari OLED adalah dengan pemberian muatan listrik pada elektroda akan menciptakan perbedaan muatan antara anoda dan katoda. Pada kondisi ini, akan tercipta *Electron hole* salah satu elektroda. Hal ini menyebabkan terjadinya eksitasi elektron dan menghasilkan emisi cahaya pada panjang gelombang tertentu (Pohl *et al.*, 2004). Skema kerja dari OLED ditunjukkan pada Gambar 6 dibawah.



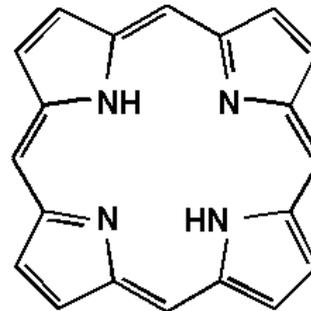
Gambar 6. Skema Kerja OLED

2.4 Porfirin dan Derivatnya

Senyawa ini merupakan salah satu zat penting bagi makhluk hidup eukariotik. Porfirin memiliki kemampuan baik dalam hal transportasi oksigen (didalam darah), respirasi, dan beberapa metabolisme lainnya (Cavaleiro *et al.*, 1989). Kegunaan utama dari porfirin sendiri adalah sebagai media biosintesis Heme (Woods *et al.*, 1993). Kepopuleran senyawa ini memberikan tantangan tersendiri bagi ilmuwan untuk mengembangkan metode ekstraksi dan sintesisnya sejak abad ke-20.

Salah satu metode ekstraksi oleh Woods bersama rekan pada tahun 1993 adalah dengan homogenisasi ekstrak dalam lingkungan asam yang gelap. Keadaan ini berguna untuk

mencegah reaksi fotooksidasi yang kemudian diekstrak dengan metanol 100%. Terakhir, produk dielusidasi dengan kromatografi kolom dilengkapi dengan *marker* untuk beberapa derivat porfirin. Gambar 7 berikut menunjukkan struktur dari Porfirin.

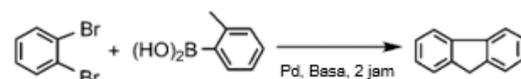


Gambar 7. Struktur Porfirin

2.5 Fluorena dan Derivatnya

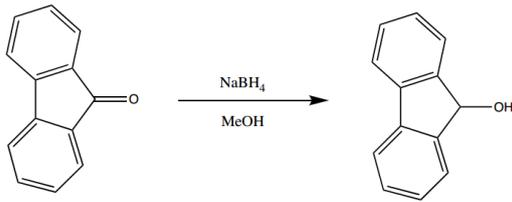
Fluorena banyak digunakan sebagai zat pewarna dan kebutuhan medisinal (Yongsheng, E.: 2004). Kegunaan fluorena dan harganya yang terjangkau membuat senyawa ini menjadi incaran sintesis dan ekstraksi oleh para peneliti (Liu *et al.*, 2010). Yongsheng bersama rekan melakukan ekstraksi senyawa ini pada minyak pembersih (*wash oil*) yang mengandung 38% fluorena. Dari penelitiannya, Yongsheng berhasil mendapatkan rendemen ekstraksi sebesar 72,24%.

Sintesis derivat fluorena dapat digunakan untuk mempelajari studi fisis, kimiawi, dan biologis dari fluorena itu sendiri. Liu bersama rekan pada tahun 2010 melakukan reaksi tandem kopleng Suzuki dan siklisasi untuk mendapatkan fluorena dan indenofluorena. Beberapa katalis dan reagen basa digunakan untuk mendapatkan hasil rendemen terbaik. Didapatkan katalis $\text{Pd}(\text{OAc})_2/\text{PCy}_3$ dengan pelarut dimetilasetamida (DMA) dalam basa $\text{K}_2\text{CO}_3/\text{t-BuCOOH}$ dengan beberapa rasio volume sebagai kontributor rendemen terbaik dalam sintesis fluorena. Gambar 8 berikut menunjukkan sintesis fluorena.



Gambar 8. Sintesis Fluorena

Sebuah metode sintesis fluorenenol diberikan oleh Langenegger dan Xiaqiang pada tahun 2007. Penelitian mereka menghasilkan rendemen sebesar 79,5% fluorenenol dengan metode sederhana yaitu dengan mereduksi fluorenon oleh NaBH_4 dalam pelarut metanol seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.



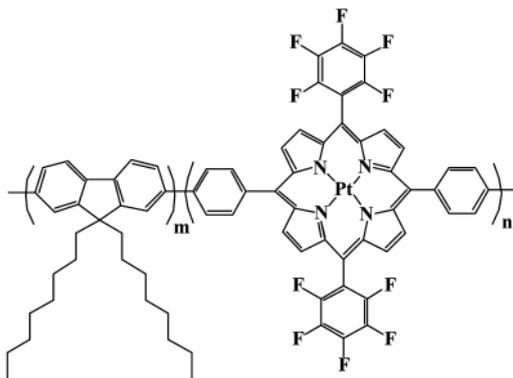
Gambar 9. Sintesis Fluorenol

3. Analisis dan Konsep Rancang Bangun

3.1 Konsep Preparasi Porfirin Terkonjugasi dengan Fluorena

Telah didapat bukti – bukti percobaan yang dapat mendukung terjadinya reaksi konjugasi antara fluorena dan porfirin (Xiang *et al.*, 2012; Wu *et al.*, 2012; Garlias-Gonzalez.: 2015). Hal ini disebabkan keberadaan gugus penerima elektron dan pendonor elektron yang terletak secara signifikan pada struktur molekul masing – masing senyawa. Adanya kedua gugus tersebut memberikan perbedaan densitas elektron yang mendukung terjadinya perpindahan elektron pada kondisi normal.

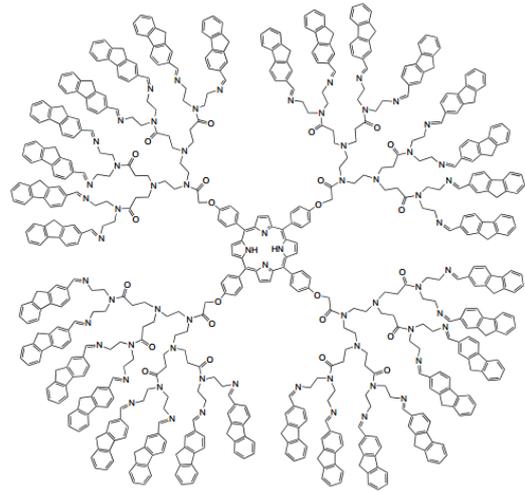
Xiang bersama rekan (2012) mensintesis kopolimer platinum(II) porfirin-fluorena yang ternyata dapat memberikan nyala fluoresensi biru dan fosforesensi merah. Intensitas cahaya dari kopolimer yang mereka dapatkan dapat diatur sesuai dengan banyaknya energi yang diberikan kepada material tersebut. Gambar 10 berikut menunjukkan struktur senyawa produk yang disintesis oleh Xiang dan rekan:



Gambar 10. Kopolimer Platinum(II)-Porfirin Fluorena

Percobaan lainnya dilakukan oleh Gonzalez bersama rekan (2015) dalam mensintesis Dendrimer Porfirin-Poli(amidoamina)-Fluorena yang sangat berguna dalam penciptaan sel surya organik, LED, dan alat *photoelectrochemical*. Senyawa yang didapat dapat berpendar secara fluoresensi pada rentang

panjang gelombang cahaya tampak (420 dan 620 nm) dalam rendemen yang baik dan dengan kemampuan transfer energi yang efisien. Berikut diberikan struktur dendrimer porfirin-poli(amidoamina)-fluorena beserta profil fluoresensinya. Struktur dendrimer porfirin-fluorena terderivatisasi ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Struktur Dendrimer Porfirin-Fluorena Terderivatisasi (Gonzalez *et al.*, 2015)

Dari beberapa sumber yang telah dipaparkan, tentunya memungkinkan bagi porfirin untuk dapat direaksikan dengan fluorena, baik dalam bentuk derivat keduanya ataupun bukan.

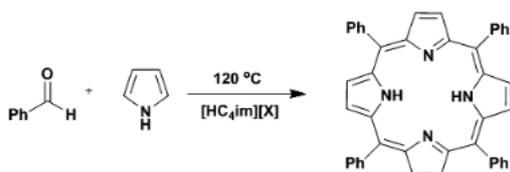
Pemilihan porfirin sebagai bahan pembuatan DSSC pada *paper* ini adalah karena jumlah persediaan sumber senyawa yang sangat melimpah baik untuk diekstraksi maupun disintesis. Porfirin merupakan senyawaan makromolekul yang terdapat didalam makhluk hidup, terutama eukariotik. Tentunya fakta ini juga mendukung opini dimana porfirin memiliki toksisitas yang sangat rendah dan biaya yang relatif lebih murah.

Fluorena sendiri meskipun tidak berasal dari bahan alam, akan membantu dalam pengaturan intensitas cahaya (Xiang *et al.*, 2012) sehingga diperlukan dalam pembuatan OLED terkombinasi dengan DSSC. Tentunya dibutuhkan berbagai macam derivat fluorena demi mendapatkan rentang panjang gelombang yang luas dengan memanfaatkan konsep kromofor pada senyawaan auksokrom.

Mengingat struktur porfirin dan fluorena yang cenderung non-polar, akan dibutuhkan pertimbangan pelarut yang tepat agar dapat melarutkan kedua campuran dengan baik untuk kemudian menghasilkan cetakan material yang diinginkan dalam pembuatan OLED dan

DSSC. Pelarut non-polar yang dapat disarankan adalah Tetrahidrofuran (THF) atau Dietil eter, dengan syarat produk harus berupa padatan agar pelarut dapat disingkirkan dan tidak mengganggu lingkungan.

Preparasi porfirin yang disarankan untuk pada saat ini adalah melalui sintesis menggunakan metode Adler yang dikembangkan oleh Kitaoka bersama rekan (2014). Mereka berhasil mensintesis tetrapiridil-porfirin menggunakan pirola dan beberapa senyawaan aldehid dengan rasio 1:1 pada beberapa larutan ionik dengan mekanisme pada Gambar 12 berikut.



Gambar 12. Sintesis Derivat Porfirin Metode Adler

Porfirin kemudian dipurifikasi untuk kemudian dicampurkan dengan fluorena yang dipreparasi menggunakan metode Liu bersama rekan (2010) yang sudah dipaparkan pada bab II. Pencampuran porfirin-fluorena disarankan menggunakan metode Gonzalez bersama rekan (2015) dengan pertimbangan jumlah unit monomer (untuk menjaga luas permukaan dye untuk DSSC) yang diperlukan dan pengaruh gugus fungsi derivat kedua senyawa terhadap kelarutan dan aktivitas reaksi yang terjadi.

Pemilihan kation untuk inti porfirin juga perlu dipertimbangkan agar didapat material yang tepat untuk mendukung pembuatan DSSC terkombinasi dengan OLED. Pemilihan kation ini nantinya akan berguna sebagai pengatur gelombang cahaya dimana fenomena *Metal-Ligand Charge Transfer* (MLCT) sangat berguna dalam penyerapan cahaya dengan rentang panjang gelombang yang lebar. Pada *paper* ini, penulis menyarankan penggunaan Ni(II) sebagai kation pusat untuk senyawa kompleks porfirin-fluorena. Setiyawati bersama rekan (2015) mendapatkan bahwa efisiensi konversi yang dihasilkan oleh DSSC menggunakan senyawa Ni(II)-Rhodamin B jauh lebih besar dibandingkan senyawa Rhodamin tanpa kation pusat.

Tahap akhir dari sintesis merupakan purifikasi produk dan elusidasi struktur. Purifikasi dapat menggunakan metode kromatografi kolom, GC, dan HPLC. Baik menggunakan spektroskopi UV-Vis, IR, NMR, maupun MS. Diperlukan tambahan analisis SEM, TEM, dan XRD untuk mendapatkan dukungan data morfologi dan struktur kisi dari

polimer yang terbentuk. Setelah elusidasi struktur selesai dilakukan, analisis optik dan listrik dari produk akan sangat dibutuhkan sebagai data pendukung pembuatan DSSC terkombinasi dengan OLED.

3.2 Konsep Preparasi DSSC Terkombinasi dengan OLED

Secara sederhana, DSSC akan menghasilkan energi listrik yang nantinya dapat dihubungkan dengan kutub – kutub elektroda OLED sehingga dapat menghasilkan cahaya penerangan. Namun, diperlukan beberapa parameter untuk melakukan kombinasi keduanya, antara lain:

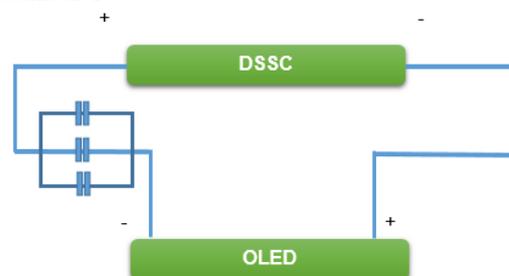
- Media penyimpanan energi listrik hasil konversi DSSC.
- Beda potensial dan efisiensi yang dapat dihasilkan oleh DSSC agar dapat diterima oleh OLED.
- Kebutuhan beda potensial yang diperlukan oleh OLED beserta rentangnya.
- Peletakan posisi material sebagai penghubung DSSC dan OLED.

Berdasarkan beberapa analisis yang diberikan, didapatkan skema preparasi DSSC terkombinasi dengan OLED yang ditampilkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Skema Preparasi Sistem DSSC-OLED

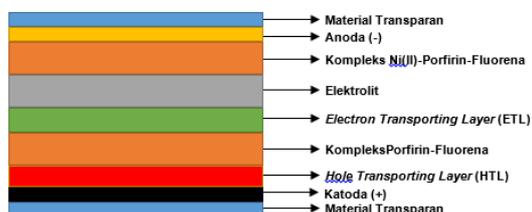
Terdapat dua saran bagan sistem DSSC-OLED, yakni Sistem Terpisah dan Sistem Terintegrasi. Pada Sistem Terpisah, hasil alir elektron dari DSSC akan dihubungkan kepada sistem OLED seperti yang ditampilkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Konsep Sistem DSSC-OLED Terpisah

Keberadaan kapasitor pada sistem ini berguna sebagai penyimpan muatan listrik dari

DSSC agar OLED dapat bekerja ketika tidak ada keberadaan sinar matahari (seperti pada malam hari). Rancangan sistem DSSC-OLED terintegrasi ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Konsep Sistem DSSC-OLED Terintegrasi

Terdapat kelebihan dan kekurangan pada masing – masing sistem. Kelebihan dari sistem terpisah antara lain: sistem DSSC ataupun OLED dapat diganti kapanpun dibutuhkan. Hal ini menjadi kelemahan pada sistem terintegrasi dimana ketika salah satu sistem mengalami kerusakan, keseluruhan sistem perlu diberikan perawatan. Namun, dari segi biaya, pemisahan komponen pada sistem DSSC-OLED terpisah akan memberikan tambahan biaya dibandingkan dengan sistem terintegrasi. Tidak adanya kapasitor pada sistem DSSC-OLED terintegrasi akan menyebabkan sistem ini tidak dapat menyimpan muatan listrik pada jangka waktu tertentu. Selain itu, keberadaan elektrolit pada sistem DSSC-OLED terintegrasi dapat mengganggu aliran elektron dari *Electron Transport Layer* OLED menuju *Hole Transport Layer* yang nantinya berguna sebagai media emisi cahaya OLED. Dapat disimpulkan diperlukan studi lebih mendalam untuk mendukung keberlangsungan sistem terintegrasi ini sehingga penulis menyarankan penggunaan sistem terpisah untuk saat ini.

Untuk mendukung konsep *green chemistry* pada *paper* ini, dibutuhkan beberapa pertimbangan pada bahan material elektroda baik pada DSSC maupun OLED dan material elektrolit pada DSSC. Berikut diberikan konsep preparasi DSSC dan OLED agar dapat dikombinasikan menjadi sumber penerangan berbasis *green chemistry*.

3.3 Preparasi Anoda DSSC

Hingga saat ini masih belum ditemukan pengganti TiO_2 yang jauh lebih efisien terkait dari toksisitas, harga, dan beda potensial yang dihasilkan. Perkembangan terbaru adalah dengan mempreparasi anoda hibrid TiO_2 -Karbon yang menghasilkan beda potensial sebesar 0,73 V dan efisiensi sebesar 4,1% (Mahmood *et al.*, 2015). Penulis menyarankan penggunaan anoda hibrid TiO_2 -Grafena untuk meningkatkan transport elektron mengingat diameter Bohr (jarak inti atom ke elektron kulit terdekat) grafena yang

besar, membuatnya menjadi semikonduktor yang baik.

Penulis menyarankan penggunaan metode yang dilakukan oleh Godibo bersama rekan (2015) dalam preparasi anoda. 3 gram titanium dioksida berbentuk nanobubuk yang terdiri dari wujud 30% rutil dan 70% anatase dicampurkan dengan nanobubuk grafena dan ditambahkan 1 mL aquades mengandung 0,1 mL asam asetat untuk mencegah agregasi partikel titanium dioksida. Penambahan Triton X-100 juga dibutuhkan untuk mencegah penyebaran koloid TiO_2 yang terbentuk sehingga memperbesar luas permukaan TiO_2 . Sol TiO_2 kemudian dilapiskan pada permukaan gelas berbentuk batang dan terakhir difurnice selama 30 menit pada suhu 450°C .

Penambahan pewarna Porfirin-Fluorena dengan ion pusat Nikel(II) dilakukan dengan perendaman elektroda selama satu malam dan kemudian dikeringkan sehingga didapat anoda hibrid TiO_2 -Grafena dengan pewarna kompleks Ni(II)-Porfirin-Fluorena.

3.4 Preparasi Katoda dan Elektrolit DSSC

Pada katoda, penulis menyarankan penggunaan grafit sebagai pengganti platina. Grafit dilapiskan pada gelas mengikuti modifikasi metode yang dikembangkan oleh Fitra bersama rekan (2013) sehingga mendukung sistem yang penulis sarankan. Elektrolit berwujud pasta sangat disarankan dalam pembuatan DSSC agar memudahkan dalam distribusi ketika sudah diproduksi.

Godibo bersama rekan (2015) menggunakan 0,9 M 3-etil-2-metilimidazolium iodida ditambahkan kedalam asetonitril. Mengkombinasikan dengan metode yang dikembangkan oleh Longo bersama rekan (2003), produk kemudian dicampurkan dengan 0,5 M tembaga(I) iodida untuk mendapatkan elektrolit homogen. Terakhir, 0,12 M Iodin dan 35% (b/b) polivinil pirolidon (PVP) ditambahkan sehingga terbentuklah elektrolit berwujud pasta.

3.5 Preparasi Sistem OLED

Elektroda yang dibutuhkan dalam pembuatan OLED tidak sekompleks elektroda DSSC. Pada sistem DSSC-OLED terpisah dibutuhkan anoda dan katoda tersendiri untuk OLED. Untuk material transparan, penulis menyarankan penggunaan *film* grafena termodifikasi sebagai pengganti *fluor-doped tin oxide* (FTO) untuk mewujudkan konsep *green chemistry* pada *paper* ini. *Film* grafena dengan ketebalan kurang lebih 60 nm dilapiskan pada permukaan polietilena (PET). Material ini juga digunakan sebagai pengganti gelas berlapis FTO sebagai material transparan DSSC.

Material terbaik yang disarankan sebagai *Hole Transport Layer* (atau *Conductive Layer*) adalah PEDOT:PSS (poli(3,4-etilenadioksitiofena) terdoping dengan poli(stirenasulfonat)). Campuran Di-[4-(N,N-ditolilamino)-fenil]sikloheksana (TAPC) dan 1,3,5-tri(fenil-2-benzimidazolil)-benzena (TPBi) dapat digunakan sebagai *Electron Transport Layer*. Polimer Porfirin-Fluorena tanpa memerlukan Ni(II) dapat digunakan pada *Emissive Layer* yang merupakan kunci utama pembuatan OLED. Sistem yang dipreparasi ini diharapkan dapat menyala pada rentang beda potensial 2,5 – 10 V (Han *et al.*, 2012). Keberadaan Ni(II) tidak begitu diperlukan karena pada dasarnya Ni(II) berperan dalam penangkapan cahaya untuk DSSC, bukan sebagai media transportasi elektron pada OLED.

4. Kesimpulan

Kombinasi DSSC dan OLED dengan konsep *green chemistry* memungkinkan untuk terjadi meskipun tidak bisa menghilangkan sepenuhnya unsur anorganik pada komponen – komponen seperti ion pusat dan elektroda. Pada *paper* ini, diberikan beberapa studi literatur dalam menyusun konsep preparasi komponen DSSC dan OLED. Pewarna Ni(II)-Porfirin-Fluorena disarankan sebagai material pewarna dalam DSSC sedangkan Porfirin-Fluorena tanpa Ni(II) disarankan sebagai material *emissive layer* dalam OLED. Kedua sistem dikombinasikan dalam dua kemungkinan: Sistem DSSC-OLED Terintegrasi dan Sistem DSSC-OLED Terpisah. Berdasarkan beberapa literatur yang telah dipelajari, penulis memilih Sistem DSSC-OLED Terpisah untuk dikembangkan. Komponen – komponen lainnya seperti material transparan, katoda, anoda, *hole transport layer*, *electron transport layer*, dan elektrolit juga dibahas didalam *paper* ini untuk mendukung terwujudnya sumber penerangan berbasis *green chemistry*.

Diperlukan studi lebih lanjut terutama dalam membahas parameter – parameter DSSC dan OLED sehingga didapat *output* paling efisien untuk mewujudkan konsep ini. Diperlukan juga studi lebih mendalam untuk mendukung terciptanya sistem DSSC-OLED terintegrasi.

Daftar Pustaka

Adachi, C. *et al.*, 2001, *Nearly 100% internal phosphorescence efficiency in an organic light emitting device*, J. App. Phys., 90, p5048-5053.

Blank, B. *et al.*, 2015, *Analysis of the light-induced degradation of differently matched tandem solar cells with and without an intermediate reflector using*

the Power Matching Method, j. solmat, 143, p1-8.

Cavaleiro, J.A.S. *et al.*, 1989, *Porphyrim synthesis*, Rev. Port. Quim., 31, p29-41.

Chen, X. *et al.*, 2002, *High-efficiency red-light emission from polyfluorenes grafted with cyclometalated iridium complexes and charge transport moiety*, J. Am. Chem. Soc., 125, p636-637.

Chu, Y., 2011, *Review and Comparison of Different Solar Energy Technologies*, Global Energy Network Institute.

Copeland, A.W. *et al.*, 1941, *The Photovoltaic Effect*.

Durán, J.C. *et al.*, 1991, *Optimization of the junction depth and doping of solar cell emitters*, Solar Cells, 31, p497-503.

E, Yongsheng, 2014, *Extraction and purification of fluorene from wash oil*, Advanced Materials Research, 989-994, p31-34.

Fitra, M. *et al.*, 2013, *TiO₂ dye sensitized solar cells cathode using recycle battery*, Energy Procedia, 36, p333-340

Forrest, S.R. *et al.*, 1997, *The stacked OLED (SOLEL): A new type of organic device for achieving high-resolution full-color displays*, Synthetic Metals, 91, p9-13.

Garfias-Gonzalez, K.I. *et al.*, 2015, *High fluorescent porphyrin-PAMAM-fluorene dendrimers*, Molecules, 20, p8548-8559.

Giribabu, L. *et al.*, 2012, *Phthalocyanines: Potential alternative sensitizers to Ru(II) polypyridyl complexes for dye-sensitized solar cells*, Current Science, 102, p991-1000

Godibo, D.J. *et al.*, 2015, *Dye sensitized solar cells using natural pigments from five plants and quasi-solid state electrolyte*, J. Braz. Chem. Soc., 26, p92-101

Han, T-H. *et al.*, 2012, *Extremely efficient flexible organic light-emitting diodes with modified graphene oxide*, Nature Photonics, 6, p105-110

Kitaoka, S. *et al.*, 2014, *A simple method for efficient synthesis of tetrapyrrolyl-porphyrin using Adler method in acidic ionic liquids*, RSC Adv., 4, p26777-26783

Langenegger, T., X, Guo, 2007, *Synthesis of 9-fluoreneol*, Swiss Federal Institute of Technology Zurich.

Liu, T-P. *et al.*, 2010, *Synthesis of fluorene and indenofluorene compounds: Tandem palladium-catalyzed suzuki cross-coupling and cyclization*, Angew. Chem. Int. Ed., 49, p2909-2912.

Longo, C. *et al.*, 2003, *Dye-sensitized solar cells: A succesful combination of materials*, J. Braz. Chem. Soc., 14, p889-901

- Mahmood, U. et al., 2015, *Co-sensitization of TiO₂-MWCNTs hybrid anode for efficient dye-sensitized solar cells*, J. Electacta, 173, p607-612.
- Moskowitz, P.D., Fthenakis, V.M., 2000, *Photovoltaics: Environmental, health, and safety issues and perspectives*, Prog. Photovolt. Res. Appl., 8, p27-38.
- Pohl, R. et al., 2004, *Red-Green-Blue emission from tris(5-aryl-8-quinolinolate)Al(III) complexes*, J. Org. Chem.
- Polikarpov, E. et al., 2011, *Achieving high efficiency in organic light-emitting diode*, Material Matters, 2.
- Robertson, Neil et al., 2014, *Neutral copper(I) dipyrin complexes and their use as sensitizers in dye-sensitized solar cells*, Dalton Transactions.
- Robertson, Neil et al., 2014, *Giant magnetoresistance in a molecular thin film as an intrinsic property*, Adv. Funct. Mater., 24, p2383-2388
- Robertson, Neil et al., 2013, *Diacetylene bridged triphenylamines as hole transport materials for solid state dye sensitized solar cells*, J. Mater. Chem. A.
- Setiyawati, H. et al., 2015, *Promising dye sensitizer on solar cell from complexes of metal and rhodamin B*, International Journal of Renewable Energy Research, 5, p694-698.
- Sun, Z-C. et al., 2011, *Synthesis, characterization and spectral properties of substituted tetraphenylporphyrin iron chloride complexes*, Molecules, 16, p2960-2970.
- Tress, Wolfgang, 2014, *Organic solar cells: theory, experiment, and device simulation*, Springer International Publishing Switzerland.
- Woods, J.S. et al., 1993, *Quantitative measurement of porphyrins in biological tissues and evaluation of tissue porphyrins during toxicant exposures*, Fundamental and Applied Toxicology, 21, p291-297.
- Wong, K-T. et al., 2002, *4,5-diazafluorene-incorporated ter(9,9-diarylfluorene): A novel molecular doping strategy for improving the electron injection property of a highly efficient OLED blue emitter*, Org. Lett., 7(10), p1979-1982
- Wong, K-T. et al., 2005, *Nonconjugated hybrid of carbazole and fluorene: A novel host material for highly efficient green and red phosphorescent OLEDs*, Org. Lett., 7(24), p5361-5364.
- Wong, W-Y. et al., 2009, *Challenges in organometallic research: Great opportunity for solar cells and OLEDs*, J. Org. Chem., p2644-2647.
- Wu, C-H. et al., 2012, *Fluorene-modified porphyrin for efficient dye-sensitized solar cell*, Chem. Comm.
- Xiang, H. et al., 2012, *Tunable fluorescent/phosphorescent platinum(II) porphyrin-fluorene copolymers for ratiometric dual emissive oxygen sensing*, Inorg. Chem., 51, p5208-5212.
- Yella, A. et al., 2011, *Porphyrin-Sensitized solar cells with cobalt(II/III)-based redox electrolyte exceed 12 percent efficiency*, Science, 334, p629-634.
- <http://www.chemistryexplained.com/Ru-Sp/Solar-Cells.html> (Diakses pada 11 September 2015)
- <http://www.sunwellsolar.com> (Diakses pada 10 Agustus 2015)
- <http://lg.com> (Diakses pada 1 September 2015)