

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan proses fotoelektrokimia dalam pembuatan sel surya menjadi dasar perkembangan *Dye-sensitized Solar Cell* (DSSC) yang diprakarsai oleh Brian O'Regan dan Michael Grätzel pada tahun 1991. Perbedaan DSSC dengan perangkat semikonduktor konvensional adalah adanya pemisahan fungsi penyerapan cahaya dengan transportasi pembawa muatan. Secara singkat, dalam semikonduktor TiO<sub>2</sub> arus dihasilkan ketika foton diserap oleh molekul *dye* yang dapat meningkatkan injeksi elektron menuju pita konduksi semikonduktor (Walley, 1964).

DSSC berbentuk *sandwich* yang terdiri dari kaca konduktif transparan, fotoelektroda, fotosensitizer, elektrolit, dan elektroda balik (Qu dkk., 2012). Material yang digunakan sebagai kaca konduktif harus memiliki transmitansi optik yang tinggi dan resistivitas listrik yang rendah sehingga memungkinkan cahaya masuk tanpa terjadi absorpsi oleh material (Gong et al., 2012).

Fotoelektroda merupakan bahan semikonduktor yang mengandung kristal yang berperan untuk menyerap energi dari cahaya matahari. Namun, penggunaannya secara terus menerus di bawah sinar matahari menyebabkan korosi akibat larutan elektrolit. Hal ini dapat mempengaruhi kestabilan sel surya sehingga penggunaan fotoelektroda beralih ke bahan semikonduktor oksida seperti TiO<sub>2</sub>. Titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) dengan fase anatase menjadi bahan semikonduktor yang banyak digunakan sebagai fotoelektroda karena sangat optimal menjadi fotokatalis yang disebabkan oleh sifat termal yang baik, toksisitas yang rendah, stabil secara kimiawi, aktivitas cahaya yang tinggi serta murah. (Abd El-Kodous, 2018; Bai et al., 2014). Dalam TiO<sub>2</sub>, arus dihasilkan ketika energi cahaya matahari diserap oleh molekul *dye* sebagai fotosensitizer yang memiliki kemampuan absorbansi spektrum cahaya tampak, sehingga dapat menghasilkan pasangan elektron-hole yang menjadi sumber tenaga listrik. Elektron tersebut bergerak menuju fotoelektroda sedangkan hole akan terisi oleh elektron donor hasil reaksi redoks pada elektrolit (O'Regan & Gratzel, 1991).

Oleh karena itu, absorbansi fotosensitizer di atas permukaan TiO<sub>2</sub> menjadi parameter penting dalam menentukan efisiensi dari DSSC (Supriyanto dkk., 2018).

Fotosensitizer yang sering digunakan pada awalnya merupakan senyawa logam transisi Ruthenium polypyridyl kompleks yang menghasilkan efisiensi DSSC sebesar 13% (Rizali et al., 2019). Namun, keberadaan logam berat dan kelangkaannya menyebabkan senyawa ini perlahan ditinggalkan. Sehingga para peneliti beralih pada bahan alam yang mudah didapatkan, banyak varian warna, mudah diekstrak dan ramah terhadap lingkungan walaupun efisiensinya lebih rendah dari bahan sintesis (M. Wang, C. Grätzel, S. M. Zakeeruddin, 2012). Untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka digunakan bahan alam seperti buah-buahan dan sayuran (Zanjanchi & Beheshtian, 2019). *Natural dye* yang digunakan sebagai fotosensitizer harus memiliki spektrum absorbansi yang luas, koefisien *molar extinction* yang tinggi untuk meningkatkan LHE, letak *Lowest Unoccupied Molecular Orbital* (LUMO) harus di atas pita konduksi semikonduktor dan letak *Highest Occupied Molecular Orbital* (HOMO) harus di bawah tingkat energi elektrolit agar proses regenerasi berjalan optimal (Fukui et al., 1952).

Bahan alam yang diolah menjadi *dye* mengandung pigmen antosianin, karotenoid, atau klorofil (Syafinar et al., 2015a). Pigmen karotenoid dapat diperoleh dari buah atau sayuran yang berwarna kuning, jingga, atau merah. Rentang absorbansinya terletak pada panjang gelombang 400-500 nm (Lichtenthaler & Buschmann, 2001). Selain itu, bahan alam yang berwarna kuning dapat mengandung pigmen kurkuminoid merupakan pigmen non-fotosintetik yang banyak ditemukan pada jenis temu-temuan keluarga Zingiberaceae seperti Kunyit (*Curcuma longa*) dan temu lawak (*Curcuma xanthorrhiza*) (Cahyono et al., 2011). Pigmen kurkuminoid bersifat lebih stabil terhadap suhu dan cahaya, jika dibandingkan klorofil dan karotenoid (Kim, dkk., 2005). *Curcuma longa* yang mengandung pigmen ini berpotensi menjadi *dye* karena memiliki rentang absorbansi yang terletak pada 408-439 nm dengan koefisien *molar extinction* sebesar 20.000-50.000 M<sup>-1</sup>cm<sup>-1</sup> (Priyadarsini, 2009)

Selain itu, letak LUMO berada di atas pita konduksi dan HOMO di bawah tingkat energi elektrolit (Abduljalil et al., 2018; Ilic & Paunovic, 2019). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Khalil Ebrahim Jasim dkk, penggunaan kurkuminoid sebagai fotosensitizer menghasilkan kinerja DSSC sebagai berikut, Tegangan *Open-Circuit* ( $V_{oc}$ ) sebesar 0.432 V, Arus *Short-Circuit* ( $I_{sc}$ ) sebesar 0.720 mA, *Fill Factor* ( $FF$ ) sebesar 40%, dan efisiensi sebesar 0.41% (Khalil Ebrahim Jasim et al., 2017).

Sedangkan pigmen klorofil banyak terdapat pada daun, dengan rentang absorbansi terletak pada panjang gelombang 460-650 nm (Guidi dkk., 2017). Klorofil memiliki koefisien *molar extinction* sebesar  $83.600 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$  (William, 1985). Salah satu daun yang mengandung klorofil dengan konsentrasi lima kali lipat lebih tinggi dari karotenoid adalah *Justicia gendarussa* yang berpotensi menjadi *dye* karena memiliki panjang gelombang absorbansi maksimum pada 640 nm serta memiliki gugus *hydroxyl alcohol* (O-H) yang menyebabkan ikatan fungsional dengan permukaan  $\text{TiO}_2$  tinggi (Senthikumar & Rajendran, 2018; Suresh Reddy et al., 2015). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Zainal Arifin dkk, penggunaan klorofil sebagai fotosensitizer menghasilkan performa DSSC dengan Tegangan *Open-Circuit* ( $V_{oc}$ ), Densitas Arus *Short-Circuit* ( $J_{sc}$ ) dan efisiensi sebesar 500 mV,  $0,62 \text{ mA/cm}^2$ , 0,16% berturut-turut (Arifin et al., 2018).

Beda halnya dengan pigmen antosianin yang mencapai hampir semua spektrum cahaya tampak dari jingga dan merah ke ungu dan biru (Santos-Buelga et al., 2014). Antosianin dapat menyerap cahaya pada panjang gelombang 500-700 nm dan mentransmisikan cahaya pada seluruh panjang gelombang jika antosianin tersebut pada pH yang tinggi (Susanto Budi antoni Saputro, Khoirun Nisa, Nita Rosita, 2014). *Clitoria ternatea* merupakan salah satu bahan alam yang mengandung antosianin dengan puncak absorbansi maksimum terletak pada panjang gelombang 665 nm serta stabil pada pH 4 yang dapat meningkatkan energi internal molekul (Hayat et al., 2019; Maryani, 2012). Hal tersebut menyebabkan *Clitori ternatea* berpotensi menjadi *dye*. Sesuai dengan hasil penelitian Norasikin A. Ludin dkk., kinerja DSSC dengan *dye* antosianin menghasilkan Tegangan *Open-Circuit* ( $V_{oc}$ ) sebesar 0.54 V, Densitas Arus

*Short-Circuit* ( $J_{sc}$ ) sebesar  $0.3 \text{ mA/cm}^2$ , *Fill Factor* sebesar 81.82%, dan efisiensi sebesar 0.13% (Ludin et al., 2018).

Dari berbagai penelitian, efisiensi dari DSSC dapat ditingkatkan dengan mengombinasikan dua atau banyak pigmen *dye* (Shalini et al., 2015). Kombinasi *dye* akan menghasilkan dua tingkatan yang menyebabkan cahaya dengan energi foton tertentu dapat mengeksitasi elektron pada spektrum absorbansi yang lebih luas dari *dye* tunggal (Pratiwi et al., 2017). Kombinasi *dye* dapat meningkatkan densitas arus yang dihasilkan oleh disosiasi molekul *dye* setelah menyerap energi foton dan jumlah *dye* yang teradsorpsi dapat dikontrol oleh keseimbangan adsorpsi dan perbedaan kinetika masing-masing *dye* (Hariyadi et al., 2017; Park et al., 2014). Salah satu hasil kombinasi *dye* antosianin (*Ipomea pescaprae*) dan klorofil (*Imperata cylindrica* (L.)) menghasilkan efisiensi DSSC dari 0.55% dan 0.27% menjadi 0.76% (Prima, 2017).

Berdasarkan penjelasan di atas, dalam penelitian ini *dye* sebagai fotosensitizer disintesis dari bahan alam *Curcuma longa* (kunyit), *Justicia gendarussa* (gandarusa), dan *Clitoria ternatea* (bunga telang) dengan metode ekstraksi maserasi yang sederhana dan mudah dilakukan. Larutan *dye* yang dihasilkan kemudian divariasikan antara *dye* tunggal dan kombinasi *dye* menjadi tujuh sampel. Dengan mengombinasikan *dye* diharapkan dapat dihasilkan kinerja DSSC yang optimal.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, diperoleh rumusan masalah **rendahnya kinerja *Dye-sensitized Solar Cell***. Sehingga pertanyaan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana sifat optik kombinasi *natural dye* sebagai fotosensitizer?
2. Bagaimana sifat listrik kombinasi *natural dye* sebagai fotosensitizer?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan kombinasi *natural dye* terhadap kinerja DSSC?

## 1.3 Batasan Masalah

*Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah, ruang lingkup penelitian ini meliputi analisis sifat optik larutan kombinasi natural dye dan dye*

tunggal sebagai pembandingnya yang berupa spektrum absorpsi dan *Light Harvesting Efficiency* (LHE) untuk mengetahui panjang gelombang yang optimal.

Sedangkan sifat listrik larutan kombinasi *natural dye* dan *dye* tunggal dibahas dalam penelitian ini berupa potensial reduksi dan oksidasi *dye* (HOMO/LUMO). Serta hubungannya dengan kristalinitas dan morfologi dari fotoelektroda TiO<sub>2</sub> yang digunakan.

Kinerja DSSC yang dibahas pada penelitian ini meliputi tegangan *Open-Circuit* ( $V_{oc}$ ), densitas arus *Short-Circuit* ( $J_{sc}$ ), *Fill Factor* (FF), dan efisiensi untuk mengetahui persentase nilai energi input yang dikonversi menjadi energi listrik. Serta keterikatan antara parameter-parameter yang dapat meningkatkan kinerja DSSC dengan efisiensi dari masing-masing sampel.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian skripsi berdasarkan rumusan masalah adalah meningkatkan kinerja *Dye-sensitized Solar Cell*. Tujuan tersebut dijelaskan lebih rinci sebagai berikut:

1. Memperoleh gambaran mengenai sifat optik kombinasi *natural dye* sebagai fotosensitizer.
2. Memperoleh gambaran mengenai sifat listrik kombinasi *natural dye* sebagai fotosensitizer.
3. Memperoleh gambaran mengenai pengaruh penggunaan kombinasi *natural dye* sebagai fotosensitizer dari hasil analisis terhadap kinerja DSSC.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada perkembangan ilmu pengetahuan yang memberikan informasi mengenai optimasi penggunaan kombinasi *natural dye* sebagai fotosensitizer terhadap kinerja DSSC dan dapat dijadikan sebagai kajian pustaka bagi informasi yang belum tersedia. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai alternatif solusi untuk memecahkan permasalahan yang berkaitan dengan DSSC.

## 1.6 Struktur Organisasi Skripsi

Skripsi ini disusun dalam lima BAB dengan beberapa sub-bab pada setiap BAB. Sistematika penulisannya secara rinci dijelaskan sebagai berikut: BAB I Pendahuluan membahas latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dilakukannya penelitian, hipotesis, sasaran penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan skripsi. BAB II Kajian Pustaka membahas tentang landasan teori mengenai DSSC, fotosensitizer, kombinasi *dye*, serta prinsip kerjanya. Teori mengenai sintesis dan fabrikasi DSSC, perbandingan kinerja DSSC pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, serta penyebab rendahnya efisiensi DSSC yang menggunakan *natural dye*. BAB III Metode Penelitian membahas tentang waktu dan lokasi penelitian, prosedur penelitian yang meliputi alat, bahan, proses sintesis dan fabrikasi, instrumen penelitian, serta cara menganalisis data. BAB IV Hasil dan Pembahasan berisi tentang seluruh data hasil penelitian, analisis kristalinitas dan morfologi fotoelektroda TiO<sub>2</sub>, sifat optik kombinasi *natural dye*, sifat listrik kombinasi *natural dye*, dan pengaruh penggunaan kombinasi *dye* terhadap kinerja DSSC. BAB V Simpulan, Implikasi, dan Rekomendasi berisi tentang kesimpulan penelitian, implikasi yang berupa konsekuensi dari hasil penelitian, serta rekomendasi mengenai penelitian yang dapat dilakukan selanjutnya.