

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1. Tinjauan Pustaka**

Menurut Arini dkk, 2017 dalam penelitiannya tentang pengaruh waktu deposisi dan temperatur substrat terhadap pembuatan kaca konduktif FTO. Metode yang digunakan kombinasi metode *sol-gel* untuk preparasi larutan kaca konduktif dan teknik *ultrasonic spray pyrolysis* untuk deposisi film tipis FTO. Percobaan ini menggunakan bahan baku timah (II) klorida hidrat ( $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dan  $\text{NH}_4\text{F}$  sebagai doping dengan rasio 6% dengan pemberian variasi temperatur 250°C, 300°C, 350°C, 400°C dan dengan variasi waktu deposisi 5, 20, 30, dan 40 menit. Pada percobaan ini diperoleh kesimpulan semakin lama waktu deposisi akan mengakibatkan menambah ketebalan lapisan tipis FTO, sehingga akan berakibat semakin kecil nilai resistivitas kaca konduktif dan berpengaruh terhadap nilai transmisinya yang semakin kecil. Peningkatan temperatur substrat akan berpengaruh pada meningkatnya lapisan tipis FTO, sehingga tahanan listrik menurun dan terlalu tebal dapat menimbulkan efek buruk pada transparansi optik. Hasil optimal dalam percobaan ini adalah pada variasi waktu deposisi 5 menit dan temperatur substrat 300°C didapatkan nilai resistivitas  $3,16 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$  dan nilai transmisinya 86,74%.

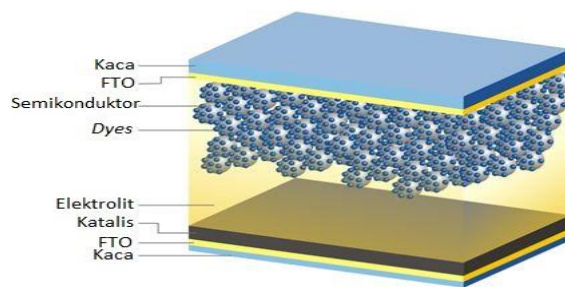
Menurut Widiyandari dkk, 2012 dalam penelitiannya tentang fabrikasi kaca FTO, penelitian ini menggunakan metode deposisi *spray*. Bahan yang digunakan  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  dengan konsentrasi 0,7 M, kandungan doping  $\text{NH}_4\text{F}$  8%

dan etanol 96%. Selanjutnya larutan yang telah dibuat diatomisasi dan dideposisi diatas permukaan kaca. Temperatur yang digunakan dalam fabrikasi kaca yaitu 500°C. Hasil penelitian ini diperoleh nilai transmitasi 80% dan didapatkan *sheet resistance* 12  $\Omega$ .cm.

## 2.2. Dasar Teori

### 2.2.1. Sel Surya

Sel surya merupakan *devais* yang digunakan untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Salah satu contoh teknologi pemanfaatan energi matahari yang sedang dikembangkan saat ini yaitu sel surya berbasis *dye/pewarna* DSSC (*Dye-Sensitized Solar Cell*) (Suyitno dkk, 2014). DSSC pertama kali ditemukan oleh seorang professor yang bernama Gratzel pada tahun 1991. Untuk fabrikasi sel surya jenis ini diperlukan beberapa komponen meliputi gelas transparan konduktif, semikonduktor, pewarna, elektrolit dan katalis *counter electrode*. Sampai saat ini material yang banyak digunakan sebagai gelas transparan konduktif adalah FTO, karena FTO umumnya lebih resistan secara kimiawi, murah dan ketersediaan bahan baku yang mudah diperoleh (Widiyandari dkk, 2012).



**Gambar 2.1.** Lapisan *sandwich* DSSC

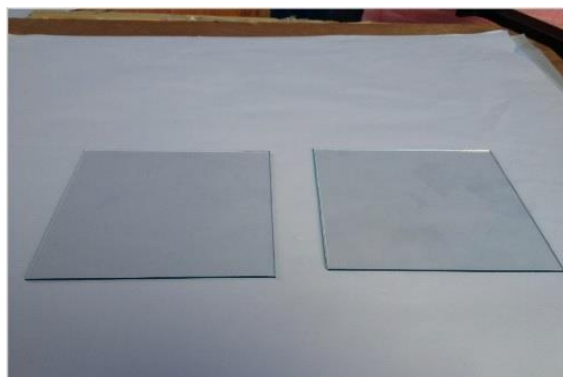
(Sumber : [www.google.com](http://www.google.com))

### 2.2.2. Kaca FTO

Kaca FTO (*Fluorine-doped Tin Oxide*) termasuk salah material TCO (*Transparent Conductive Oxide*) yang banyak digunakan sebagai kaca konduktif transparan. Kaca FTO terbuat dari bahan dasar material yang permukaannya kacanya dideposisi dengan larutan *prekursor* yaitu lautan  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{NH}_4\text{F}$  yang dilarutkan dalam etanol 96 %. Sifat optik yang dimiliki oleh kaca FTO jika ditinjau dari sifat listiknya merupakan material semikonduktor (resistivitas  $10^{-4} - 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ ) dengan konduktivitas listrik yang berada diantara isolator (resistivitas  $10^{14} - 10^{22} \Omega \cdot \text{cm}$ ) dan konduktor (resistivitas  $10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ ) (Setiawan dkk, 2007)

Selain itu sifat optik yang lainnya dapat diketahui dari bagaimana interaksi kaca FTO dengan cahaya, hasil dari interaksi tersebut akan didapatkan seberapa besar transmitansi yang dimiliki oleh kaca FTO. Pada umumnya kaca FTO memiliki tingkat transparansi antara 68-85% pada panjang gelombang antara 400-800 nm, besar kecilnya tingkat transparansi akan mempengaruhi kemampuan kaca FTO dalam penyerapan cahaya

matahari. Kelebihan dari kaca jenis ini adalah sifat konduktivitas listrik yang relatif lebih tahan terhadap perlakuan pemanasan, lebih resisten terhadap kimiawi, harganya yang relatif murah dan ketersediaan bahan baku yang mudah diperoleh. Sehingga kaca FTO dapat digunakan sebagai pelapis substrat semikonduktor pada perangkat DSSC (Widiyandari dkk, 2012).



**Gambar 2.2.** Kaca *fluorine-doped tin oxide* (FTO)

(Sumber : [www.aliexpress.com](http://www.aliexpress.com))

### 2.2.3. Elemen-Elemen Kaca FTO

Bahan-bahan yang dijadikan sebagai elemen dalam pembuatan kaca FTO dapat dideskripsikan sebagai berikut :

#### 1. Substrat Kaca

Substrat kaca merupakan sebuah tempat melekatnya bagian-bagian dari elemen DSSC. Dipilih karena kemampuan substrat kaca yang mampu bertransparansi terhadap cahaya meskipun telah terlapisi oleh zat semikonduktor (Fauziah dan Fitri, 2013).

## 2. $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

$\text{SnCl}_2$  Merupakan Sn = timah, Cl = klorida, timah (II) klorida adalah bahan kimia berbentuk kristal berwarna putih dan terikat dengan molekul air yaitu  $2\text{H}_2\text{O}$ . Timah (II) klorida hidrat digunakan untuk membuat gelas FTO (Widiyandari dkk, 2012) dengan konsentrasi 0,7 M serta memerlukan oksigen sebagai pereaksinya. Sifat yang dimiliki oleh  $\text{SnCl}_2$  yaitu memiliki *density*  $2,71 \text{ g/cm}^3$ , *melting point*  $37,7^\circ\text{C}$  dan *boiling point*  $623^\circ\text{C}$

## 3. $\text{NH}_4\text{F}$

Ammonium fluoride adalah bahan kimia berbentuk kristal berwarna putih.  $\text{NH}_4\text{F}$  digunakan sebagai doping dalam fabrikasi kaca FTO, doping berfungsi untuk menaikkan sifat dari  $\text{SnO}_2$  dengan cara menyumbang gugus F pada  $\text{SnO}_2\text{F}$  (Yadav, 2009). Sifat yang dimiliki dari  $\text{NH}_4$  adalah memiliki *density*  $1,009 \text{ g/cm}^3$  dan *melting point*  $100^\circ\text{C}$ .

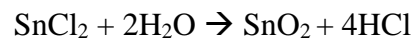
## 4. Etanol

Etanol merupakan larutan yang bersifat *inert* (tidak bereaksi dengan komponen lain) dan sering dijadikan sebagai pelarut (Fauziah dan Fitri, 2013). *Boiling point* yang dimiliki oleh etanol adalah  $78,4^\circ\text{C}$  (Purba, 2009).

#### 2.2.4. Reaksi Kimia

Reaksi kimia yang terjadi pada percampuran larutan  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , etanol 96% dan  $\text{NH}_4\text{F}$  sebagai berikut :

- a. Etanol 96% dijadikan sebagai pelarut
- b. Pembentukan lapisan  $\text{SnO}_2$  dari pemisahan senyawa  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  :



- c. Reaksi dekomposisi dari senyawa amonim fluoride :



- d. Ketika proses deposisi berlangsung larutan  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{NH}_4\text{F}$  akan mengalami ionisasi larutan sehingga menjadi  $\text{SnO}_2 \cdot \text{F}$

(Fauziah dan Fitri, 2013)

#### 2.2.5. Sintering

*Sintering* (pemanasan) adalah pemanasan dengan menggunakan temperatur dibawah titik leleh suatu material, tujuan dari *sintering* yaitu untuk merubah struktur *porositas* suatu material (Nayiroh, 2013). Pada pembuatan kaca FTO temperatur *sintering* digunakan untuk membuka pori-pori lapisan kaca, sehingga pada saat proses ionisasi larutan *droplet* dapat terdeposisi kedalam lapisan kaca. Hal-hal yang mempengaruhi *sintering* yaitu temperatur, waktu, kecepatan pemanasan, kecepatan pendinginan, atmosfer *sintering* dan jenis material. *Sintering* dilakukan menggunakan tungku listrik (*heater*) yang diprogram sesuai dengan kebutuhan temperatur yang akan digunakan.

## 2.2.6. Mekanisme Perpindahan Panas

### a. Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi merupakan proses perpindahan panas jika panas mengalir dari tempat yang suhunya tinggi ke tempat yang suhunya lebih rendah, tetapi media untuk perpindahan panas tetap. Jadi jika ada perbedaan suhu, molekul-molekul pada daerah yang suhunya tinggi akan memberikan panasnya kepada molekul yang suhunya lebih rendah pada saat terjadi tumbukan dengan molekul yang suhunya lebih rendah. Persamaan dasar dari konsep perpindahan panas konduksi adalah hukum Fourier, dinyatakan dengan :

$$\frac{q_k}{A} = k \left( - \frac{dT}{dx} \right) \dots \dots \dots (1)$$

Dimana : T = suhu, °C

x = jarak/tebal dinding, m

A = luas dinding (luas perpindahan panas), m<sup>2</sup>

k = konduktivitas termal, W/m. °C

q<sub>k</sub> = laju perpindahan panas konduksi, Watt

$\frac{q_k}{A}$  = laju perpindahan panas per satuan luas W/m<sup>2</sup>

(Buchori, 2004)

### b. Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi karena pancaran/sinaran/radiasi gelombang elektromagnetik, tanpa memerlukan media perantara. Persamaan perpindahan panas radiasi adalah hukum Stefan Boltzman, dinyatakan dengan :

$$q_r = \varepsilon \sigma A T^4 \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :  $\varepsilon$  = emesivitas

$T$  = suhu absolut benda, °K

$A$  = luas permukaan, m<sup>2</sup>

$q_r$  = laju perpindahan panas radiasi, Watt

$\sigma$  = konstanta Stefan Boltzman, 5,669 x 10<sup>-8</sup> W/m<sup>2</sup>.K<sup>4</sup>

(Buchori, 2004)

### c. Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah proses perpindahan panas dimana cairan atau gas yang suhunya tinggi mengalir ke tempat yang suhunya lebih rendah, memberikan panas pada permukaan yang suhunya lebih rendah. Persamaan dasar dari konsep perpindahan panas koveksi adalah hukum Newton, dinyatakan dengan :

$$\frac{q_c}{A} = h_c (T_w - T_s) \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :  $T$  = suhu, °C

$A$  = luas permukaan, m<sup>2</sup>

$h_c$  = koefisien perpindahan panas konveks, W/m<sup>2</sup>. °C



$q_c$  = laju perpindahan panas konveksi, Watt

$\frac{q_c}{A}$  = laju perpindahan panas per satuan luas  $W/m^2$

(Buchori, 2004)

### 2.2.7. Metode Dalam Fabrikasi Kaca FTO

Kaca FTO dalam fabrikasinya terdapat berbagai pilihan metode yang dapat digunakan, antara lain :

#### a. Metode *Chemical Bath Deposition* (CBD)

CBD merupakan metode pendeposisian untuk menumbuhkan lapisan semikonduktor berbahan dasar bahan kimia pada substrat gelas, metode ini dilakukan pada suhu yang rendah ( $25^\circ\text{C} - 90^\circ\text{C}$ ). Proses metode CBD yaitu sebelum larutan akan di deposisi, larutan terlebih dahulu dipanaskan pada suhu rendah ( $25^\circ\text{C} - 90^\circ\text{C}$ ) yang berguna untuk mereaksikan sifat larutan, selanjutnya dilakukan pendeposisian dengan cara mencelupkan substrat gelas kedalam larutan (Oktaviani & Astuti, 2014). Kelebihan dari metode *Chemical Bath Deposition* adalah tidak memerlukan *heater* bertemperatur tinggi. Sedangkan kekurangan dari metode ini adalah hanya dapat digunakan untuk larutan yang memiliki titik leleh rendah.

#### b. Metode *Spray Pyrolysis Deposition*

Merupakan metode untuk menghasilkan partikel produk berukuran mikrometer, submikrometer ataupun nanometer tergantung konsentrasi *prekursor*, selanjutnya partikel digunakan untuk membuat lapisan tipis

semikonduktor (Widiyastuti dkk, 2011). Proses dari *Spray Pyrolysis Deposition* yaitu larutan yang telah dibuat dimasukkan kedalam wadah *ultrasonic nebulizer* untuk menjadikan partikel berukuran nano, kemudian diatomisasi dan dideposisi atas permukaan gelas. Proses deposisi larutan menggunakan temperatur tinggi yaitu 500°C (Widiyandari dkk, 2012). Kelebihan dari metode *Spray Pyrolysis Deposition* adalah dapat mengatur ukuran partikel larutan yang akan di deposisi ke dalam substrat kaca. Sedangkan kekurangan dari metode ini adalah biaya produksi yang mahal.

c. Metode *Sintering* & Ionisasi larutan

Metode ini merupakan metode yang sederhana dan dapat menghasilkan kaca FTO yang memiliki sifat optik yang tinggi. Prosesnya terlebih dahulu substrat kaca dipanaskan dengan menggunakan tungku listrik (*heater*), lalu kaca di *sintering* dengan temperatur tertentu agar pori-pori lapisan kaca terbuka, setelah itu pendeposisian larutan ke lapisan kaca yang terbuka pori-porinya dan kaca tersebut akan mengalami proses ionisasi larutan, proses ini akan terjadi perubahan pada muatan atom yang mengalami penambahan atau pengurangan elektron dari atom yang melebur. Jika atom tersebut saat melebur menangkap sejumlah elektron dari atom lain, maka atom akan bermuatan negatif dan apabila atom tersebut saat melebur melepaskan sejumlah elektron yang dimilikinya, maka atom tersebut bermuatan akan positif (Haryanto, 2015). Kemudian substrat kaca didinginkan

sampai suhu ruangan. Kelebihan dari metode *sintering* dan ionisasi larutan adalah metode yang sederhana dan biaya produksi yang relatif lebih murah. Sedangkan kekurangan dari metode ini adalah tidak dapat mengatur suplai O<sub>2</sub> pada saat produksi kaca FTO.

### 2.2.8. Uji Karakteristik Sifat Optik Kaca FTO

Dalam pengujian karakteristik kaca FTO digunakan alat uji yaitu :

#### a. *Four Point Probe*

*Four Point Probe* adalah alat yang digunakan untuk mengukur atau mengetahui nilai resistivitas ( $\Omega\text{-cm}$ ), tahanan/resistansi ( $R, \Omega$ ) dari suatu bahan elektronika yaitu bahan semikonduktor. Resistivitas merupakan merupakan salah satu parameter yang sangat penting dalam kelistrikan sel surya karena besar kecilnya resistivitas suatu bahan akan berpengaruh pada medan listrik yang dibutuhkan untuk menimbulkan sebuah kerapatan arus (Toifur & Asmiarto, 2017). Dalam mekanisme kerja *Four Point Probe* yaitu dengan mengukur besarnya nilai ohm.cm pada suatu material dalam radius per 1 cm, lalu hasil pengukuran ohm dilakukan rata-rata agar mendapatkan hasil yang lebih teliti.

#### b. Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis merupakan alat untuk mengukur transmittan atau absoban pada suatu material. Spektrofotometer sesuai merupakan alat yang terdiri dari spektrometer dan fonometer. Spektrometer digunakan untuk menghasilkan sinar dari spektrum

dengan panjang gelombang 200-900 nm dan fotometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur intensitas cahaya yang dapat ditransmisikan atau diabsorpsi. Pengukuran konsentrasi larutan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mengukur jumlah cahaya yang dapat diteruskan oleh suatu material dengan panjang gelombang tertentu, besarnya cahaya yang dapat diteruskan oleh suatu material dapat digunakan untuk mengukur besarnya nilai transmitansi (Kurniawati, 2017). Pada fabrikasi kaca FTO pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar nilai transmitansi yang dimiliki oleh kaca FTO serta panjang gelombangnya ( $\lambda$ ), dengan cara menembakan sinar ultraviolet (UV) pada substrat kaca (Prasatya dan Diah, 2013).