

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Transparent Conductive Oxide (TCO)*

Kaca konduktif transparan merupakan material yang sangat penting untuk digunakan dalam berbagai aplikasi teknologi modern, seperti sel surya, layar LCD atau plasma, layar *smartphone* hingga sensor cahaya. Dapat dikatakan bahwa TCO merupakan bahan dasar wajib untuk membuat berbagai alat fotonik-elektronika. Dalam bidang energi terutama pengaplikasian sel surya jenis DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) kaca TCO berperan sebagai substrat yaitu tempat menempelnya semua komponen seperti semikonduktor, *dye*, elektrolit dan lapisan *counter electrode*. TCO memiliki 2 fungsi penting dalam sel surya DSSC yaitu bertindak sebagai jendela optik untuk meneruskan cahaya dengan rentang panjang gelombang tertentu sampai cahaya tersebut mengenai semikonduktor dan juga berfungsi sebagai elektroda konduktor untuk menarik elektron-elektron dari cahaya yang sudah tereksitasi yang dialirkan melalui elektrolit. Properti yang paling diinginkan dari film TCO pada pengaplikasian sel surya jenis DSSC adalah *band gap* yang lebar sekitar 3.0 eV, hambatan listrik yang rendah, transmitansi (tembus pandang) yang tinggi dan mobilitas tinggi sebagai pembawa elektron.

Film TCO yang sering digunakan pada umumnya adalah SnO_2 , ZnO , In_2O_3 , CdO , TiO_2 , dan Cd_2SnO_4 . *Fluorine doping SnO₂* dan ITO dianggap kandidat yang paling baik untuk pembuatan TCO dibandingkan dengan ZnO , TiO_2 , dan Cd_2SnO_4 . *Indium doping tin oxide* (ITO) memang jenis TCO yang paling banyak digunakan dalam pengaplikasian sel surya DSSC. Namun, indium merupakan material yang ketersediaannya di alam terbatas sehingga harganya sangat mahal dan tidak stabil pada suhu tinggi (Muruganatham, G. dkk, 2012). *Doping fluorine* pada SnO_2 telah dipelajari dan menjadi kandidat yang menjanjikan untuk menggantikan indium karena potensi efisiensi dan mobilitas elektroniknya lebih tinggi pada pengaplikasian sel surya DSSC. Selain itu, kelimpahan *fluorine* di alam dan tidak beracun membuat *fluorine* lebih menarik dibanding indium.

2.1.1 *Konduktivitas TCO*

Pada umumnya, material inorganik oksida (unsur yang bersenyawa dengan oksigen) pada ukuran yang sangat tipis bersifat tembus cahaya. Hal ini dikarenakan adanya celah

energi (*gap*) antara pita valensi dengan pita konduksi yang jamak terdapat pada material semikonduktor. Berbeda dengan logam yang tidak memiliki celah energi, dalam material semikonduktor celah ini menghalangi pergerakan elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Elektron baru dapat bergerak mengatasi celah ini (atau lebih dikenal dengan tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi) apabila mendapatkan energi yang lebih besar dari lebar celah yang dinyatakan pada besaran elektron-volt (eV). Dapat diilustrasikan seorang anak yang hendak melompati sungai kecil dengan lebar sekian meter. Anak tersebut dapat melompati sungai kecil dengan cara melompat dengan tenaga yang cukup untuk mengatasi lebar sungai kecil, seperti itulah pula elektron yang membutuhkan energi untuk dapat melompat untuk mengatasi celah energi.

Elektron di dalam TCO mendapatkan energi untuk mengatasi celah tersebut dari cahaya (atau lebih tepatnya partikel cahaya yang disebut dengan foton) yang mengenai permukaan material TCO. Dikarenakan lebar celah ini berada pada kisaran 3,2 eV atau setara dengan panjang gelombang elektromagnetik 320 nm (ultraviolet), maka hanya foton dengan energi setara atau lebih besar dari 3,2 eV yang mampu mengeksitasi elektron mengatasi celah ini. Sedangkan, foton dengan energi lebih kecil dari celah tidak akan mampu mengeksitasi elektron, sehingga foton ini hanya akan ditransmisikan atau diteruskan. Foton yang diteruskan inilah yang berada pada kisaran spektrum cahaya tampak karena cahaya ini energinya lebih kecil dari 3,2 eV. Itulah mengapa, material TCO bersifat transparan karena dapat ditembus oleh cahaya tampak.

Di sisi lain, sifat konduktif TCO disebabkan oleh karakteristik ikatan kimianya yang berjenis ikatan ionik (ikatan antara logam dengan oksigen) yang memungkinkan atom terlepas dengan sendirinya dari posisi normalnya ke posisi lain yang pada akhirnya menyebabkan pula elektron terlepas pula di dalam struktur oksida tersebut. Seiring banyaknya atom yang terlepas dari posisi normalnya maka semakin banyak pula jumlah elektron di dalam material TCO, sehingga apabila kita mengalirkan arus listrik ke material tersebut, maka elektron tersebut akan menghantarkan arus listrik sehingga material ini bersifat konduktif.

2.1.2 Persyaratan TCO yang Baik

TCO yang bagus memenuhi beberapa persyaratan dibawah ini (Thangaraju, B., 2002) :

1. Konduktivitas lapisan TCO merupakan parameter penting yang harus setinggi mungkin untuk mewujudkan sel surya dengan efisiensi yang tinggi. Lapisan TCO

dengan konduktivitas yang tinggi memungkinkan untuk dilakukan fabrikasi sel surya yang luas sehingga dapat menguntungkan dalam biaya produksi.

2. Transparansi optik dari lapisan TCO harus setinggi mungkin diseluruh rentang spektrum cahaya. Transmittansi optik yang tinggi dapat mengurangi kerugian optik dan meningkatkan efisiensi sel surya.
3. Penggunaan TCO yang efisien dalam sel surya dan aplikasi optoelektronik lainnya, baik konduktivitas listrik dan transmittansi optik harus setinggi mungkin. Namun, kedua sifat yang diinginkan tersebut saling keterbalikan, seperti jika ketebalan film TCO atau pembawa konsentrasi semakin meningkat maka akan meningkatkan konduktivitas listrik tetapi pada waktu yang sama cenderung mengurangi transmittansi optik. Sehingga, harus ada keseimbangan antara dua faktor ini untuk tercapai efisiensi yang maksimum. Dalam aplikasi sel surya, merit atau faktor kualitas (ϕ) memiliki peran yang penting dalam menentukan kualitas FTO. Nilai merit pada TCO dalam aplikasi sel surya didefinisikan sebagai (Moholkar, A. V., dkk, 2007) :

$$\phi = \frac{T}{R_{sh}} \dots\dots\dots(2-1)$$

Dimana T adalah transmittansi pada $\lambda = 550$ nm dan R_{sh} adalah *sheet resistance*.

2.2 Fluorine Doped Tin Oxide (FTO)

(Zhang, dkk., 2011) telah melakukan investigasi yang mendetail mengenai peran kekosongan oksigen dalam *fluorine doped SnO₂* yang dilakukan dengan metode *spray pyrolysis*. Mereka menunjukkan bahwa spektrum FTIR sebagai bukti ekperimental yang menunjukkan adanya kekosongan oksigen dan substitusi *fluorine* untuk mengisi kekosongan oksigen tersebut. Mereka juga mengamati bahwa dengan meningkatnya konsentrasi *fluorine*, peran kekosongan oksigen menjadi tidak mencolok dan substitusi *fluorine* ke oksigen menjadi cacat dominan pada struktur lapisan FTO, yang berperan dalam menentukan konsentrasi pembawa elektron dan resistivitas lapisan FTO.

Pengaruh dari ketebalan lapisan dan laju pertumbuhan pada properti FTO dengan metode *spray pyrolysis* telah dipelajari (Agashe, Mahamuni., 2010). Mereka mengamati bahwa laju pertumbuhan mempengaruhi arah perubahan reorientasi dari pola pertumbuhan, memungkinkan untuk menumbuhkan lapisan FTO dalam kisaran yang lebih luas 50-130 nm/min sehingga dapat mencapai sifat listrik yang lebih baik. Pada pengamatan lain mengenai perbandingan *indium tin oxide* (ITO) dan *fluorine dope tin oxide* (FTO) dengan teknik *spray pyrolysis* menunjukkan bahwa lapisan FTO dengan 2,5% *fluorine* dapat

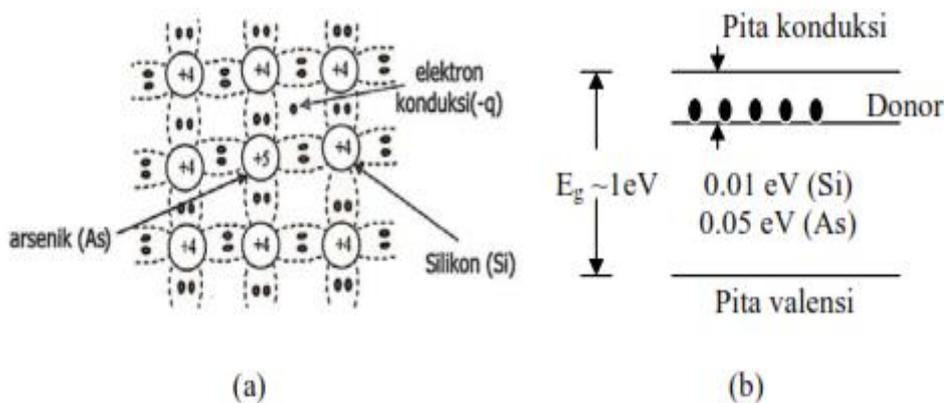
menghasilkan nilai resistivitas $6 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ (Aouaj, Ait., dkk, 2009). (Arini, Tri., dkk. 2016) melakukan penelitian dengan memvariasikan temperatur sintering 250, 300, 350 °C dengan lama penyemprotan 20 menit. Larutan prekursor dibuat dari 12 g *tin chloride dihidrat* ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dan 2% wt *amonium flouride* (NH_4F) yang dilarutkan dalam 100 ml etanol. Hasil terbaik yang didapat yaitu resistivitas terendah yaitu $3,32 \times 10^{-5} \Omega \text{ cm}$ dengan transmitansi 75,5% pada temperatur 300 °C. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa temperatur sintering berpengaruh terhadap nilai hambatan dan transmitansi FTO. FTO dengan temperatur sintering rendah akan terbentuk ukuran butir yang kecil namun terdapat porositas, porositas inilah yang bisa menjadi penghalang ketika elekttron mengalir sehingga nilai resistivitas tinggi. Semakin tinggi temperatur maka butiran yang terbentuk akan semakin besar, dan kompak. Sehingga, semakin sedikit persebaran batas butir dan menyebabkan nilai resistivitas menurun.

(Miao., dkk. 2010) mengamati pengaruh temperatur terhadap properti FTO dan menghasilkan *sheet resistance* paling rendah 4,2 Ω/cm dengan transmitansi optik hingga 75% untuk ketebalan 600 nm, ketika substrat temperatur lebih besar dari 300 °C. (Mohalkar., dkk. 2009) melakukan penelitian tentang pembuatan FTO dengan metode *spray pyrolysis*. Pada penelitian ini konsentrasi dari *fluorine* divariasikan untuk mengetahui karakteristik pengaruh *fluorine* terhadap resistansi listrik dan transmitansi FTO. Material yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan FTO pada penelitian ini adalah *tin chloride pentahidrat* ($\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) (2 M) dengan doping *ammonium fluoride* (NH_4F). Hasil dari penelitian ini dikarakterisasi menggunakan uji XRD, UV-vis *spectrophotometer*, dan SEM. Kondisi optimum FTO pada penelitian ini diperoleh pada variasi konsentrasi NH_4F 20 wt% dengan nilai hambatan listrik $3,8 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ dan nilai rata-rata transmitansi 60-85,6%. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa konsentrasi dari *fluorine* berpengaruh pada struktur dan sifat-sifat kelistrikan dari lapisan SnO_2 . Hal ini disebabkan karena *fluorine* menduduki ikatan oksigen pada SnO_2 sehingga menciptakan elektron bebas dan menyebabkan penurunan tahanan listrik pada FTO.

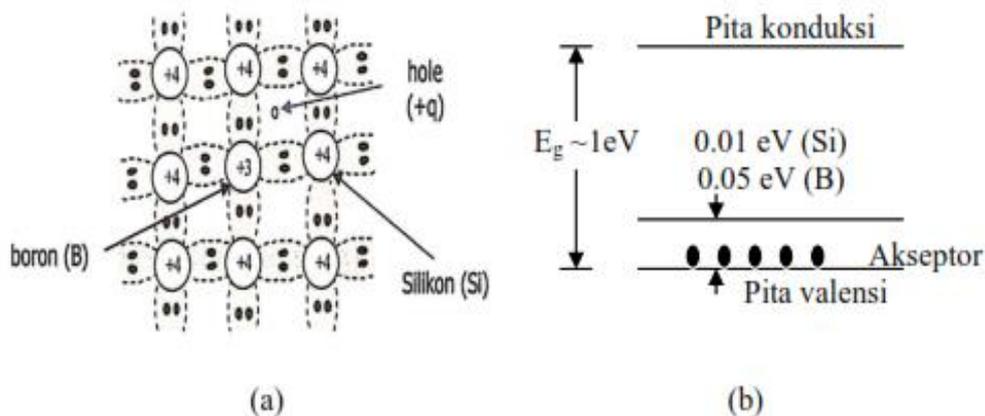
2.2.1 Konduktivitas FTO

Ketika semikonduktor murni (intrinsik) dikotori dengan doping atom lain, maka semikonduktor tersebut kemudian menjadi semikonduktor ekstrinsik. Semikonduktor oksida logam (SnO_2) adalah bahan semikonduktor yang berasal dari logam dan berikatan dengan oksigen. Lapisan teratas permukaan SnO_2 disusun oleh ion-ion oksigen dan ion-ion

logam pada lapisan dibawahnya. Kisi ion-ion logam hanya terisi sebagian, ruang tersisa berada dalam keadaan cacat (*defect*) (Atmono Trimardji, 2003). Dalam teori *defect*, kekurangan atau kelebihan ion oksigen pada permukaan akan menyebabkan cacat titik. Cacat titik yang terbentuk karena kekurangan ion oksigen (akseptor oksigen) pada permukaan akan menyebabkan terbentuknya pita akseptor yang letaknya di atas pita valensi dalam struktur pita energi permukaan. Cacat titik yang terbentuk karena terisinya permukaan dengan ion oksigen menyebabkan terbentuknya tingkat energi donor yang letaknya sedikit di bawah pita konduksi dalam struktur pita energi (Atmono Trimardji, 2003). Pengotoran dengan atom donor dan atom akseptor dapat dilihat pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2



Gambar 2.1 (a) Semikonduktor dengan donor atom asing dari golongan VA (arsenik) atau semikonduktor tipe-n (b) Tingkat energi atom donor
Sumber : Atmono Trimardji (2003)

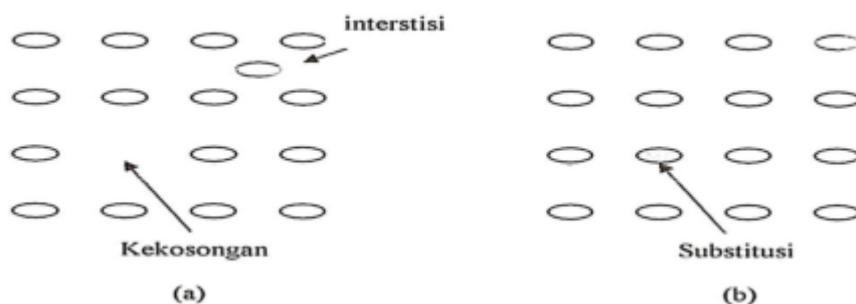


Gambar 2.2 (a) Semikonduktor dengan atom asing dari golongan III A (Boron) atau semikonduktor tipe-p (b) Tingkat energi atom aseptor
Sumber : Atmono Trimardji (2003)

Atom donor adalah atom pengotor yang memberi kontribusi jumlah elektron berlebih (jumlah elektronnya lebih banyak satu dari atom murni). Sehingga semikonduktor yang dikotori dengan atom donor ini mengalami kelebihan elektron, dan menjadi semikonduktor tipe-n. Sedangkan atom akseptor adalah atom pengotor yang memberikan kontribusi jumlah hole berlebih (jumlah elektronnya lebih sedikit satu dari atom murni). Sehingga semikonduktor yang dikotori dengan atom akseptor akan kekurangan elektron dan menimbulkan hole. Semikonduktor ini menjadi tipe-p.

2.2.2 Ketidaksempurnaan (cacat) pada lapisan tipis SnO_2

Istilah cacat atau ketidaksempurnaan umumnya digunakan untuk membahas penyimpangan dari susunan teratur titik-titik kisi. Apabila penyimpangan dari susunan periodik kisi terbatas sampai di sekitar beberapa atom, penyimpangan ini disebut cacat titik (*point defect*) atau ketidaksempurnaan titik (Dieter Gearge E., 1987).



Gambar 2.3 Cacat titik (*point defect*) dalam sebuah kisi kristal (a) kekosongan (*vacancy*) dan cacat interstisi (*interstisi defect*) (b) cacat substitusi (*substiusi defect*)
Sumber : Beiser Artur, (1981)

Kekosongan yaitu terdapatnya tempat kosong bilamana sebuah atom lepas dari posisi kisi normal (Van Vlack, 1991). Cacat interstisi yaitu apabila sebuah atom menempati suatu keadaan yang tidak normal sehingga terdesak diantara atom-atom pada kisi tuan rumah (Trethewey, 1991). Atom interstisi bisa berupa atom tuan rumah atau atom asing (Van Vlack, 1991). Cacat substitusi yaitu adanya atom asing yang menempati suatu kedudukan pada kisi yang seharusnya diisi oleh atom tuan rumah (Trethewey, 1991).

2.3 Metode *Spray Pyrolysis Deposition*

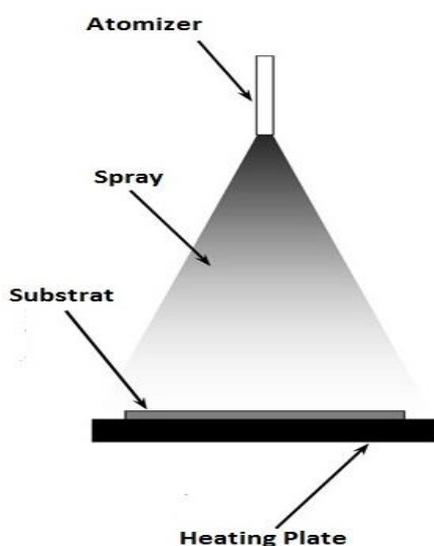
Metode spray pyrolysis merupakan salah satu teknik pendeposisian kimia yang sederhana yang digunakan untuk membuat lapisan tipis pada substrat. Teknik ini

melibatkan penyemprotan larutan yang mengandung garam-garam terlarut dari atom-atom penyusun senyawa yang diinginkan pada substrat, dan dipertahankan pada suhu tinggi umumnya dalam kisaran 300-500 °C (Murugantham, G. dkk, 2012). Substrat panas memberikan energi *thermal* yang dibutuhkan untuk dekomposisi pirolitik dari droplet yang tersemprot hingga mencapai permukaan substrat dan ketika proses terjadi akan terbentuk lapisan tipis terus-menerus pada permukaan substrat yang terbentuk dari atom-atom senyawa larutan yang teratomisasi menempel karena adanya energi panas yang diberikan oleh substrat. Pembentukan lapisan tipis pada substrat adalah hasil dari proses berikut :

- a. Kemerataan penyebaran droplet yang disemprotkan pada permukaan substrat
- b. Reaksi pirolitik antara reaktan yang terdekomposisi
- c. Banyaknya pelarut yang menguap
- d. Pengulangan banyaknya droplet yang berhasil menempel pada substrat

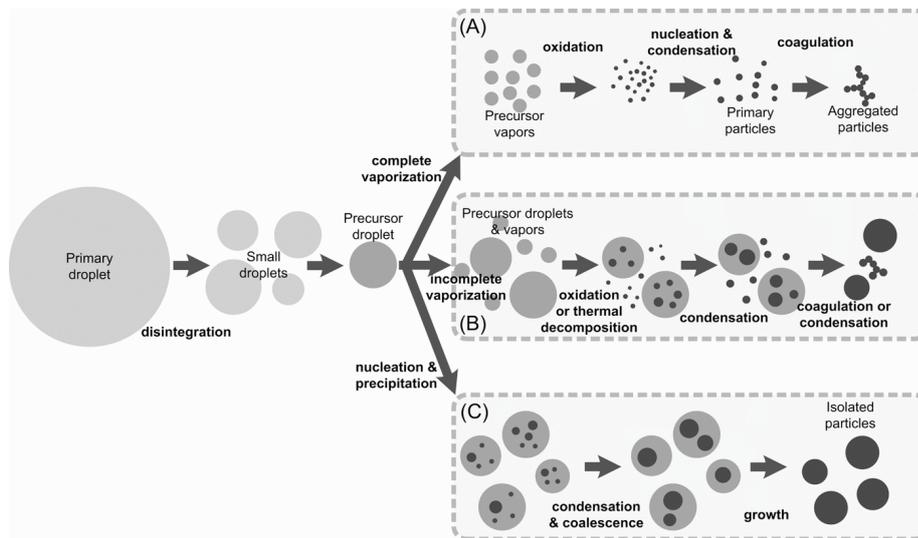
Karakteristik lapisan pada substrat tergantung pada beberapa parameter seperti konsentrasi larutan prekursor, jenis bahan pelarut, jenis doping dan konsentrasinya, geometri *nozzle* penyemprot, laju aliran gas pembawa, kecepatan droplet yang disemprotkan, temperatur substrat, kinetika dan termodinamika dari reaksi pirolitik.

Berbagai macam teknik untuk mendeposisikan atau melapiskan material konduktif pada kaca pada pembuatan FTO. Pada penelitian ini metode *spray pyrolysis* digunakan untuk membuat FTO dengan memanfaatkan *ultrasonic nebulizer*. Proses yang terjadi pada *spray pyrolysis* adalah larutan yang diatomisasi menjadi dalam bentuk droplet dengan alat *ultrasonic nebulizer*, kemudian droplet dialirkan dengan gas pembawa (*carrier gas*).



Gambar 2.4. Skema metode *spray pyrolysis*
 Sumber : Perednis, D et al (2005)

Dari *Gambar 2.4* dapat dilihat mekanisme pembuatan FTO dengan metode *spray pyrolysis*. Kaca yang dipanaskan pada plat pemanas kemudian dideposisikan larutan prekursor dari nebulizer atau menggunakan alat penyemprot seperti *air brush*. Berikut adalah tahapan pembentukan partikel pada proses *spray pyrolysis*.



Gambar 2.5. Skema Pembentukan partikel
Sumber : Choa, K., Changa (2009)

Dari *Gambar 2.5* diketahui tahapan-tahapan terbentuknya partikel. Fase pertama larutan prekursor diurai menjadi larutan prekursor yang lebih kecil kemudian membentuk droplet. Langkah selanjutnya droplet terevaporasi dan akan tumbuh menjadi *primary* partikel dan akan tumbuh mengecil dan bergabung (*aggregated*) setelah proses nukleasi, kondensasi, dan koagulasi.

2.3.1 Keuntungan Metode *Spray Pyrolysis*

Spray Pyrolysis merupakan salah satu teknik yang efektif dan sederhana cocok untuk komersialisasi. Metode ini cepat dan mudah untuk diaplikasikan jika digunakan pada area deposisi yang luas. Selain itu murah dan penyusunan komponen-komponen pendukung yang sederhana, metode ini memiliki beberapa keuntungan lain meliputi :

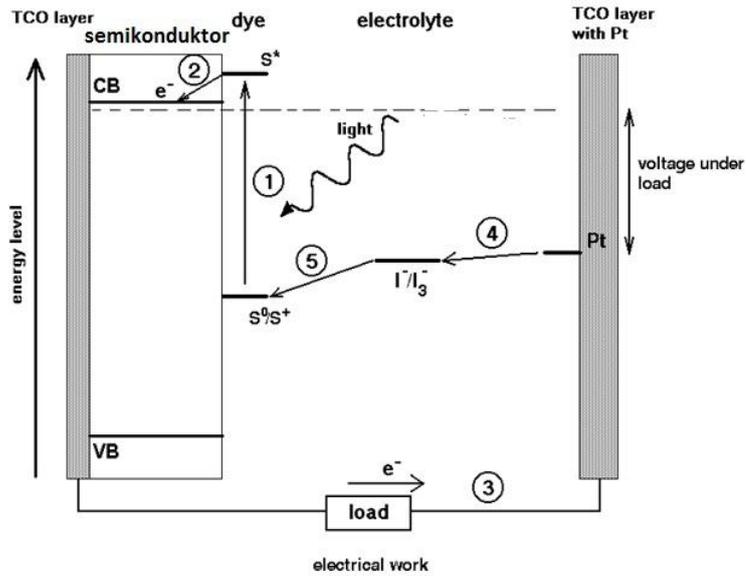
- a. Tingkat pertumbuhan yang tinggi
- b. Kemampuan untuk menghasilkan droplet yang seragam dan melekat kuat
- c. Tidak membutuhkan kondisi vakum
- d. Kemudahan jumlah doping yang dapat dikontrol
- e. Kemampuan untuk mendeposisikan campuran dari multi komponen

Metode ini memiliki kemungkinan luas untuk dapat memvariasikan properti dari lapisan dengan mengubah parameter proses seperti komposisi larutan prekursor, suhu substrat, jarak *nozzle* terhadap permukaan substrat, laju penyemprotan, lama waktu pendeposisian, dll.

2.4 *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*

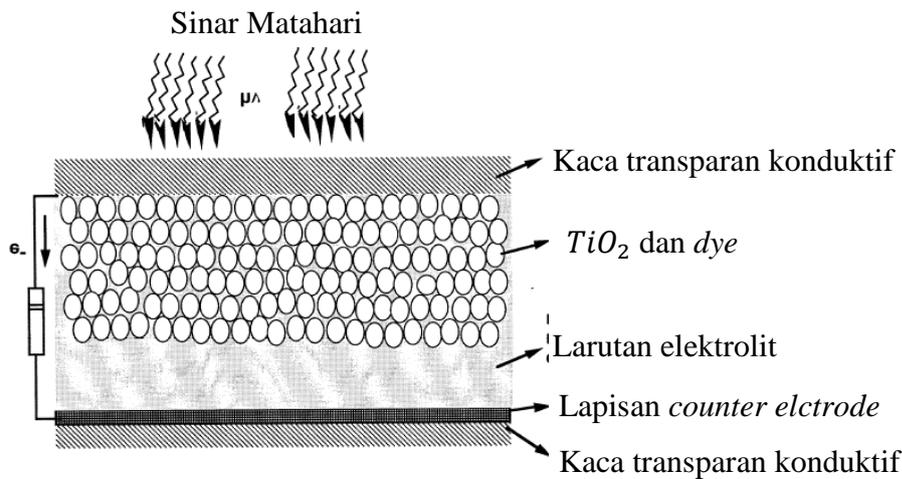
Dye sensitized solar cell adalah sel surya berbasis pewarna dengan elektroda terbuat dari semikonduktor yang menyerap zat warna untuk meningkatkan efisiensi konversi sinar matahari. DSSC pertama kali ditemukan oleh Michael Gratzel pada tahun 1991. DSSC merupakan salah satu penemuan di bidang energi terbarukan. DSSC adalah sel surya generasi ketiga yang berbasis nonsilikon berbeda dengan generasi pertama dan kedua yang memanfaatkan silikon. DSSC tersusun dari elektroda kerja, elektroda *counter* dan elektrolit. DSSC bekerja pada daerah sinar tampak hingga sedikit infra merah. Sinar tampak merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang 390-770 nm, sedangkan infra merah sedikit lebih panjang (Halme, J., 2002).

Prinsip kerja DSSC adalah material semikonduktor ditempatkan pada kaca transparan konduktif membentuk lapisan tipis. Kemudian lapisan *dye* ditempatkan pada permukaan lapisan nanokristalin semikonduktor. Fotoeksitasi yang dialami oleh *dye* menghasilkan elektron tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi *dye* (1) yang kemudian masuk ke pita konduksi dari logam oksida (2). Injeksi elektron ini melalui hubungan antara semikonduktor dengan gugus karboksil pada zat warna. Proses ini menghasilkan *dye* yang bermuatan positif dan partikel dari semikonduktor yang bermuatan negatif. Elektron tersebut selanjutnya keluar melalui sirkuit eksternal menuju *counter electrode* (3). Aliran elektron ini dimanfaatkan sebagai energi listrik. Kekosongan elektron pada pita valensi *dye* digantikan oleh elektron yang berasal dari elektrolit. Elektrolit yang digunakan pada DSSC adalah pelarut yang mengandung sistem redoks, contohnya adalah pasangan iodida-triiodida. Regenerasi sensitiser oleh iodida terjadi dengan proses pendonoran elektron pada pita valensi dari *dye* yang teroksidasi (5). Iodida diregenerasi kembali dengan reduksi triiodida pada counter electrode, dengan memanfaatkan elektron yang berasal dari eksternal sirkuit (4), proses ini berlangsung terus-menerus sebagai suatu siklus sehingga dihasilkan arus yang kontinyu, sebagaimana terlihat pada gambar 2.6



Gambar 2.6 Prinsip kerja DSSC
Sumber : Halme, J. (2002)

2.4.1 Komponen DSSC



Gambar 2.7 Skema DSSC
Sumber : Hasin, P. (2009)

1. Substrat.

Substrat yang digunakan pada DSSC adalah TCO (*Transparent Conductive Oxide*) yang merupakan kaca transparan konduktif. TCO itu sendiri berfungsi sebagai badan dari sel surya dan sebagai tempat elektron mengalir.

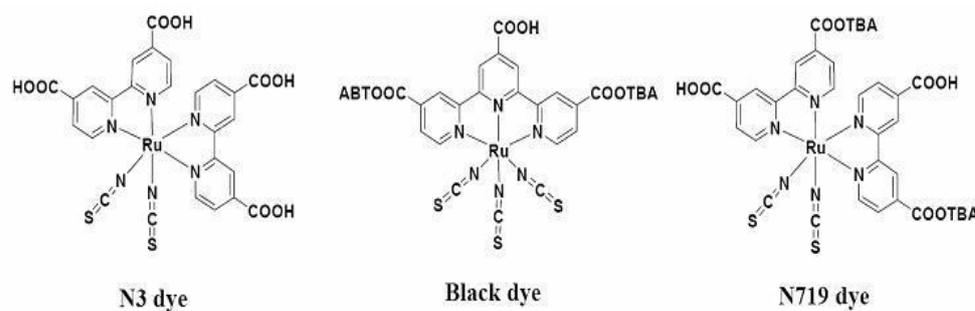
2. Semikonduktor TiO_2 (titanium oxide).

Semikonduktor yang digunakan dalam penelitian ini yaitu lapisan tipis TiO_2 . Selain itu TiO_2 dengan struktur nanopori yaitu pori berukuran dalam skala

nanopartikel akan menaikkan kinerja sistem karena struktur nanopori mempunyai luas permukaan yang tinggi sehingga akan menaikkan jumlah *dye* yang terserap pada lapisan tipis TiO₂. Hal itu yang akan mengakibatkan kenaikan jumlah cahaya yang terabsorb sehingga efisiensi sel surya meningkat.

3. *Dye*

Seperti telah dijelaskan di atas, zat pewarna *dye* yang terserap pada lapisan tipis TiO₂ berfungsi menyerap cahaya. Dilakukan oleh molekul *dye* yang terabsorpsi pada permukaan TiO₂. *Dye* yang umumnya digunakan dan mencapai efisiensi paling tinggi yaitu jenis ruthenium *complex*. Kelebihan *dye* sintesis dibandingkan *dye* organik adalah waktu pakai/*lifetime* untuk DSSC relatif lebih lama dibandingkan *dye* dari bahan organik. Jenis-jenis ruthenium *complex* antara lain adalah N3 *dye*, Black *dye* dan N719 *dye*.



Gambar 2.8 Struktur *dye* Ruthenium *complex*

Sumber : Halme, J. (2002)

4. Elektrolit

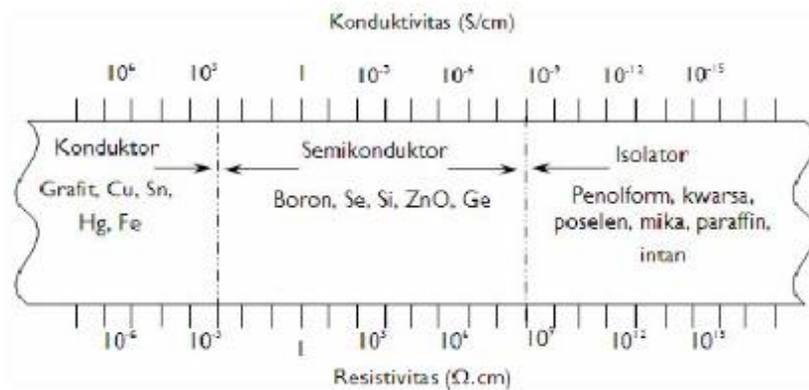
Elektrolit yang digunakan DSSC terdiri dari iodide (I⁻) dan triiodide (I³⁻) sebagai pasangan redoks dalam pelarut. Elektron yang berasal dari elektrolit berfungsi untuk mengisi kekosongan elektron pada pita valensi *dye*.

5. *Counter electrode*

Katalis dibutuhkan untuk mempercepat kinetika reaksi proses reduksi triiodide pada TCO. Platina, material yang umum digunakan sebagai katalis pada berbagai aplikasi, juga sangat efisien dalam aplikasinya pada DSSC. Platina dideposisikan pada TCO dengan berbagai metoda yaitu elektrokimia, *sputtering*, *spin coating*, atau *spray pyrolysis*. Pada penelitian ini *counter electrode* yang dipakai adalah Platina.

2.5 Karakteristik Material

Material alami maupun buatan yang terdapat di alam dibagi menjadi material konduktor, isolator, dan semikonduktor. Ketiga material tersebut mempunyai nilai konduktivitas listrik yang berbeda dan nilai dari konduktivitas listrik dari material tersebut dapat dilihat pada *Gambar 2.9*

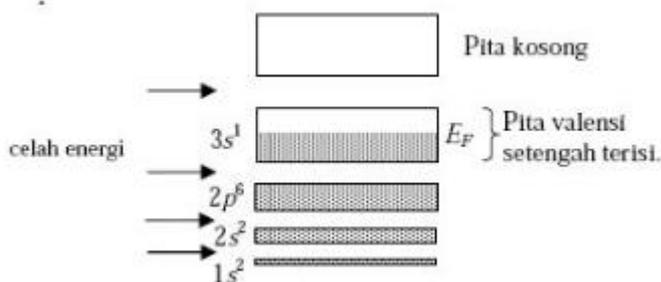


Gambar 2.9 Spektrum Konduktivitas listrik dan Resistivitas
Sumber : Irzaman, et al (2010)

Material konduktor mempunyai nilai konduktivitas listrik antara $10^6 - 10^3$, material semikonduktor antara $10^{-8} - 10^3$ dan material isolator antara $10^{-9} - 10^{-15}$. Resistansi suatu material bergantung pada panjang, luas penampang melintang, tipe material dan temperatur (Irzaman, dkk., 2010).

a. Konduktor

Konduktor adalah material yang mempunyai konduktivitas listrik yang sangat baik, dikarenakan mempunyai karakteristik pita energi yang tidak stabil. Pada *Gambar 2.10* menunjukkan diagram pita energi material Na dengan konfigurasi atom Na adalah $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^1$.

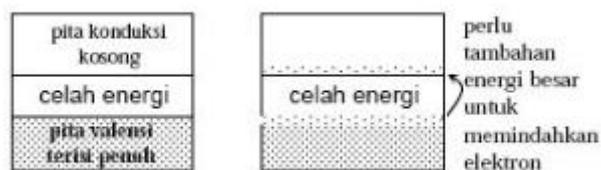


Gambar 2.10 Diagram pita energi padatan Na
Sumber : Irzaman, et al (2010)

Pada atom Na orbital $3s^1$ yang seharusnya dapat memuat 2 elektron hanya terisi 1 elektron, inilah elektron valensi atom Na. Oleh karena itu pita energi $3s^1$ pada padatan Na hanya setengah terisi, dan disebut pita valensi. Orbital berikutnya $3s^1$ tidak terisi elektron (kosong). Pada temperatur kamar elektron di sekitar tingkat energi fermi mendapat tambahan energi dan mampu naik ke orbital di atasnya yang masih kosong. Elektron yang naik ini relatif bebas sehingga medan listrik dari luar akan menyebabkan elektron bergerak dan terjadilah arus listrik. Oleh karena itu material dengan struktur pita energi seperti ini, dimana pita energi yang tertinggi tidak terisi penuh merupakan konduktor yang baik.

b. Isolator

Kebalikan dengan konduktor, isolator merupakan material yang tidak mudah menghantarkan arus listrik. Dilihat dari diagram pita energi pada isolator *Gambar 2.11* menunjukkan bahwa pita valensi paling luar terisi penuh sehingga mempunyai sifat yang stabil.



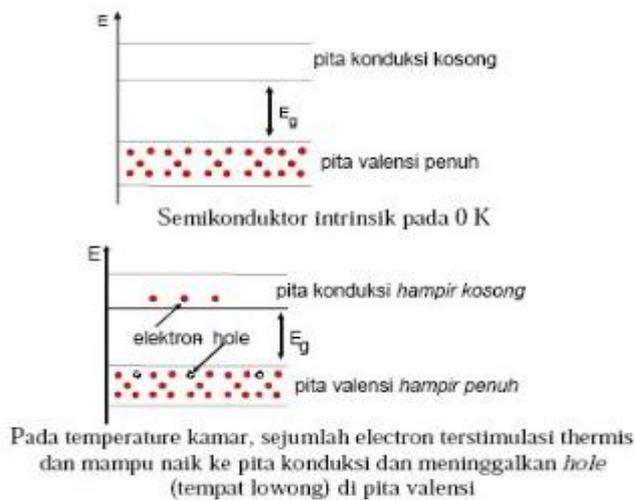
Gambar 2.11 Diagram pita energi material isolator
Sumber : Irzaman, et al (2010)

Karena pita valensi terisi penuh maka elektron dalam pita ini tidak dapat berganti status. Satu-satunya cara untuk berganti status adalah dengan melompati celah energi dan masuk ke pita konduksi. Namun jika celah energi cukup lebar, beberapa eV, perpindahan ini hampir tidak mungkin terjadi kecuali ditambahkan energi yang cukup besar misalnya dengan pemanasan. Material yang memiliki diagram pita energi seperti ini tidak mudah menghantarkan arus listrik, termasuk dalam kelompok material isolator seperti misalnya intan, quartz, dan kebanyakan padatan dengan ikatan kovalen dan ikatan ion.

c. Semikonduktor

Diagram pita energi untuk material semikonduktor mirip dengan material isolator akan tetapi berbeda lebar celah energinya. Celah energi pada semikonduktor hanya sekitar 1 eV. Germanium dan silikon adalah material semikonduktor. Konfigurasi

atom Ge [Ar] $3d^{10}, 4s^2, 4p^2$ dan Si [Ne] $3s^2, 3p^2$ kedua macam atom ini memiliki 4 elektron di tingkat energi terluarnya.



Gambar 2.12 Diagram pita energi semikonduktor
Sumber : Irzaman, et al (2010)

Karena celah energi sempit maka jika temperatur naik, sebagian elektron di pita valensi naik ke pita konduksi dengan meninggalkan tempat kosong (*hole*) di pita valensi. Keadaan ini ditunjukkan pada Gambar 2.9 baik elektron yang berada di pita konduksi maupun hole di pita valensi akan bertindak sebagai pembawa muatan untuk terjadinya arus listrik. Konduktivitas listrik naik dengan cepat dengan naiknya temperatur. Konduktivitas listrik tersebut diatas disebut konduktivitas intrinsik. Konduktivitas material semikonduktor juga dapat ditingkatkan dengan penambahan ion asing tertentu (pengotoran, impuriti) atau disebut donor.

2.6 Hipotesa

Pada variasi temperatur, ketika temperatur pendeposisian meningkat akan mengakibatkan penurunan nilai transmitansi dan nilai resistansi sampai batas optimum, setelah temperatur dinaikkan melewati batas optimumnya maka nilai transmitansi dan nilai resistansi akan naik kembali. Pada variasi rasio massa, ketika rasio massa meningkat maka nilai resistansi akan menurun sampai batas optimum penambahannya, setelah rasio massa dinaikkan melewati batas optimumnya maka nilai resistansi akan naik kembali sehingga konduktivitas menurun.