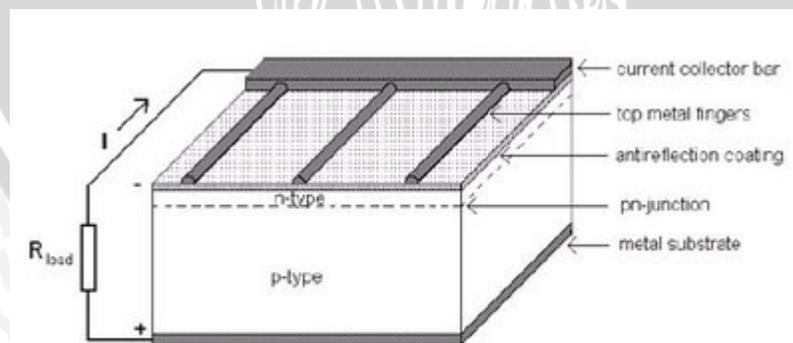


BAB II DASAR TEORI

Dasar teori yang dimaksudkan dalam penelitian ini merupakan teori-teori yang digunakan untuk membantu menyelesaikan penelitian. Dasar untuk mendesain dan merencanakan penelitian ini adalah hasil dari penelitian Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MSc pada tahun 2013 dengan judul “*Solar Sel Organik Dengan Pewarna Klorofil Pada Dssc (Dye-Sensitized Solar Cell) dari Ekstraksi Daun Jarak Pagar dan Daun Pepaya*” dan laporan penelitian Wilman Septina pada tahun 2007 dengan judul “*Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah dengan Bahan Organik-Inorganik (Dye-sensitized Solar Cell)*”.

2.1. Sel Surya Konvensional Berbasis Silikon

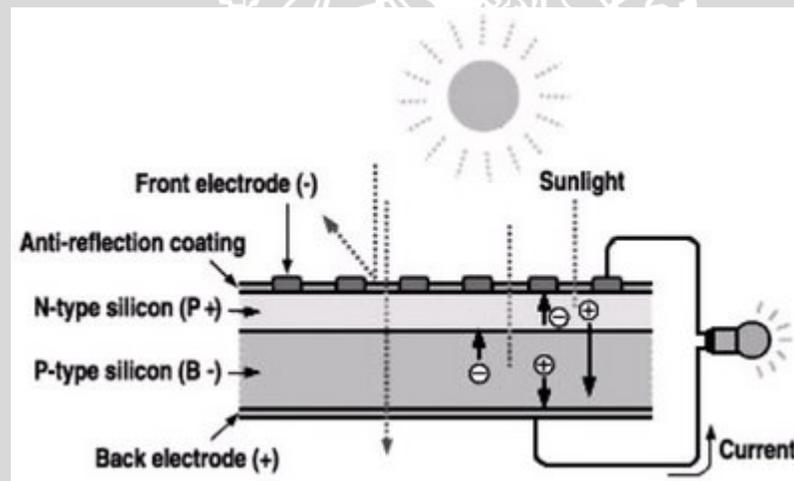
Prinsip kerja sel surya berbasis silikon terdiri atas lapisan semikonduktor *doping-n* dan *doping-p* yang membentuk *p-n junction*, lapisan antirefleksi, dan substrat logam sebagai tempat mengalirnya arus dari lapisan tipe-n (elektron) dan tipe-p (*hole*) (Wilman et al., 2007 : 6). Struktur sel surya konvensional ditunjukkan dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1: Struktur Sel Surya Silikon

Sumber : Wilman et al.. 2007 : 7

Semikonduktor tipe-n didapat dengan men-*doping* silikon dengan unsur dari golongan VA yaitu N,P, atau As sehingga terdapat kelebihan elektron valensi dibanding atom sekitar. Pada sisi lain semikonduktor tipe-p didapat dengan *doping* oleh golongan IIIA, yaitu B, Al, Ga, atau In sehingga kekurangan elektron valensi dibanding atom sekitar. Ketika dua tipe material tersebut mengalami kontak maka kelebihan elektron dari tipe-n berdifusi pada tipe-p. Sehingga area *doping*-n akan bermuatan positif sedangkan area *doping*-p akan bermuatan negatif. Medan elektrik yang terjadi antara keduanya mendorong elektron kembali ke daerah-n dan *hole* ke daerah-p. Apabila ditempatkan hambatan pada terminal sel surya, maka elektron dari area-n akan kembali ke area-p sehingga menyebabkan perbedaan potensial dan arus akan mengalir (Wilman et al., 2007 : 8). Prinsip kerja sel surya konvensional secara ilustrasi ditunjukkan dalam Gambar 2.2.



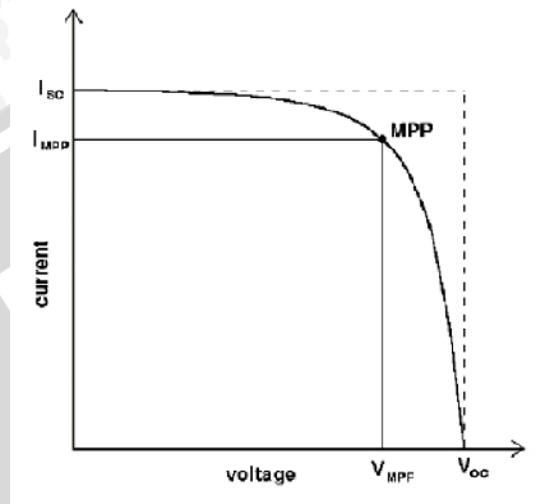
Gambar 2.2: Prinsip Kerja Sel Surya Silikon

Sumber : Wilman et al., 2007 : 7

2.2. Performansi Sel Surya

Daya listrik yang dihasilkan sel surya ketika mendapat cahaya, diperoleh dari kemampuan perangkat sel surya tersebut untuk memproduksi tegangan ketika diberi

beban dan arus melalui beban pada waktu yang sama. Kemampuan ini direpresentasikan dalam kurva arus tegangan (I-V) dalam Gambar 2.3.



Gambar 2.3 : Karakteristik Kurva I-V pada Sel Surya

Sumber : Wilman et al., 2007 : 8

Ketika sel dalam kondisi *short-circuit*, arus maksimum atau arus *short-circuit* (I_{sc}) dihasilkan, sedangkan pada kondisi *open-circuit* tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangannya maksimum, disebut tegangan *open-circuit*. (V_{oc}). Titik pada kurva I-V yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut titik daya maksimum (MPP). Karakteristik penting lainnya dari sel surya yaitu *fill factor* (FF), dengan persamaan,

$$FF = \frac{V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{V_{OC} \cdot I_{SC}}$$

Dengan menggunakan *fill factor* maka maksimum daya dari sel surya didapat dari persamaan,

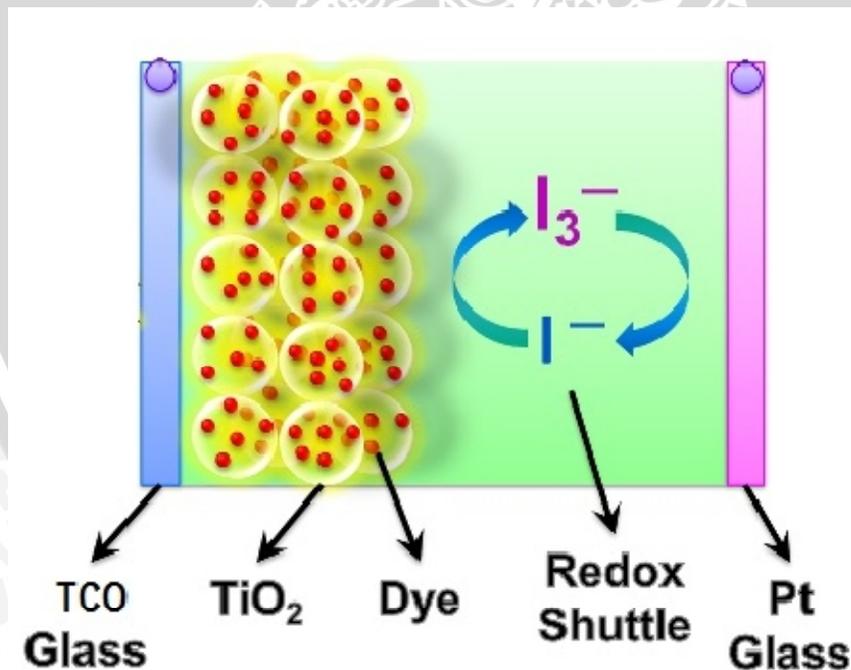
$$P_{MAX} = V_{OC} \cdot I_{SC} \cdot FF$$

(Wilman et al., 2007 : 9)

2.3. *Dye-sensitized Solar Cell (DSSC)*

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC), sejak pertama kali ditemukan oleh Professor Michael Gratzel pada tahun 1991, telah menjadi salah satu topik penelitian yang dilakukan intensif oleh peneliti di seluruh dunia. DSSC bahan disebut juga terobosan pertama dalam teknologi sel surya sejak sel surya silikon (Phani et al., 2001 : 1).

Berbeda dengan sel surya konvensional, DSSC adalah sel surya fotoelektrokimia sehingga menggunakan elektrolit sebagai medium transport muatan. Selain elektrolit, DSSC terbagi menjadi beberapa bagian yang terdiri dari nanopori TiO_2 , molekul *dye* yang teradsorpsi di permukaan TiO_2 , dan katalis yang semuanya dideposisi diantara dua kaca konduktif. Struktur DSSC secara ilustrasi ditunjukkan dalam Gambar 2.4 (Sholeh et al., 2013 : 6).



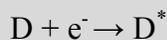
Gambar 2.4 : Struktur Dye-sensitized Solar Cell

Sumber : Sholeh et al., 2013 : 6

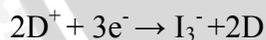
Pada bagian atas dan alas sel surya merupakan kaca yang sudah dilapisi oleh TCO (*Transparent Conducting Oxide*) umumnya SnO_2 , yang berfungsi sebagai elektroda dan counter elektroda. Pada TCO *counter-electrode* dilapisi katalis untuk mempercepat reaksi redoks dengan elektrolit. Pasangan redoks yang umumnya dipakai yaitu I^-/I_3^- (*iodide/triiodide*). Pada permukaan elektroda dilapisi oleh nanopori TiO_2 yang mana *dye* teradsorpsi di pori TiO_2 . *Dye* yang umumnya digunakan yaitu jenis ruthenium (Ru) complex (Wilman et al., 2007 : 13).

2.4. Prinsip Kerja DSSC

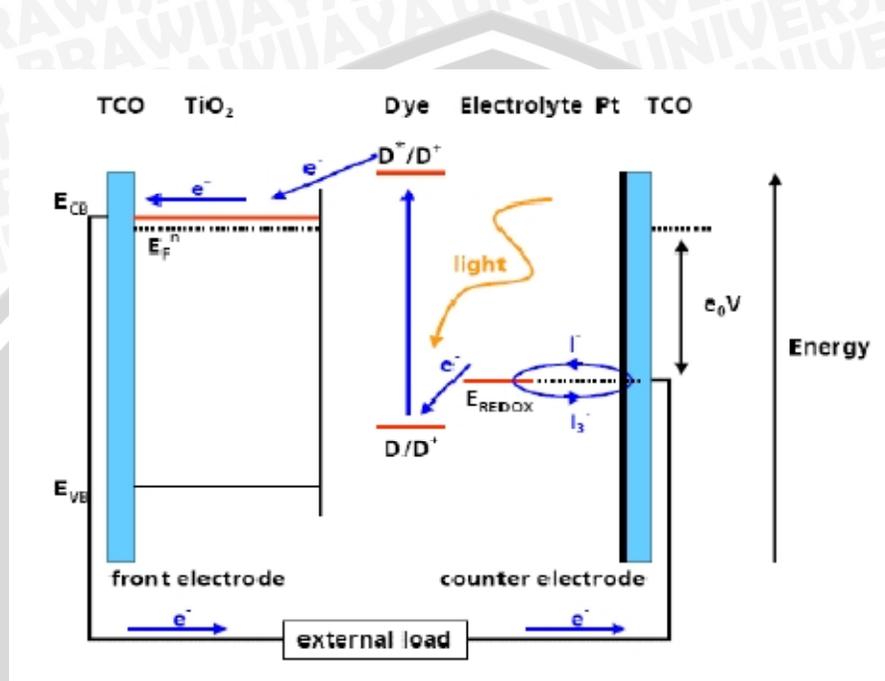
Skema kerja dari DSSC ditunjukkan pada Gambar 2.5. Pada dasarnya prinsip kerja dari DSSC merupakan reaksi dari transfer elektron. Proses pertama dimulai dengan terjadinya eksitasi elektron pada molekul *dye* akibat absorpsi foton. Elektron tereksitasi dari *ground state* (D) ke *excited state* (D^*).



Elektron dari *excited state* kemudian langsung terinjeksi menuju *conduction band* (E_{CB}^-) titania sehingga molekul *dye* teroksidasi (D^+). Dengan adanya donor elektron oleh elektrolit (I^-) maka molekul *dye* kembali ke keadaan awalnya (*ground state*) dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh *dye* yang teroksidasi (Sastrawan, 2006 : 12).



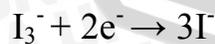
Skema prinsip kerja dari DSSC ditunjukkan dalam Gambar 2.5.



Gambar 2.5 : Skema Kerja DSSC

Sumber : Sastrawan, 2006: 12

Setelah mencapai elektroda TCO, elektron mengalir menuju *counter-electrode* melalui rangkaian eksternal. Dengan adanya katalis pada *counter-electrode*, elektron diterima oleh elektrolit sehingga *hole* yang terbentuk pada elektrolit (I_3^-), akibat donor elektron pada proses sebelumnya, berekombinasi dengan elektron membentuk iodide (I^-).



Iodide ini digunakan untuk mendonor elektron kepada *dye* yang teroksidasi, sehingga terbentuk suatu siklus transport elektron. Dengan siklus ini, terjadi konversi langsung dari cahaya matahari menjadi listrik (Wilman et al., 2007 : 14)

2.5. Material DSSC

Dye-sensitized Solar Cell (DSSC) tersusun dari berbagai macam material penyusun, yaitu :

A. Substrat

Substrat adalah badan dari sel surya dan sebagai media mengalirnya muatan. Subtrat yang digunakan pada DSSC yaitu TCO (*Transperent Conductive Oxide*).TCO merupakan sebuah kaca transparan yang memiliki lapisan konduktif yang berfungsi sebagai mengalirnya muatan pada DSSC.

Material yang umumnya digunakan yaitu *flourine-doped tin oxide* ($\text{SnO}_2:\text{F}$ atau FTO) dan *indium tin oxide* ($\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$ atau ITO) hal ini karena dalam proses pelapisan material TiO_2 kepada substrat, diperlukan proses *firing* pada temperatur $400\text{-}500^\circ\text{C}$ dan kedua material tersebut merupakan pilihan yang cocok karena tidak mengalami perubahan bentuk maupun perubahan sifat pada range temperatur tersebut (Wilman et al., 2007 : 14).

Dalam penelitian ini digunakan *ITO (Indium Tin Oxide)* dari Sigma-Aldrich yang memiliki resistivitas permukaan sebesar $15\text{-}25 \Omega/\text{sq}$ yang ditunjukkan dalam Gambar 2.6.



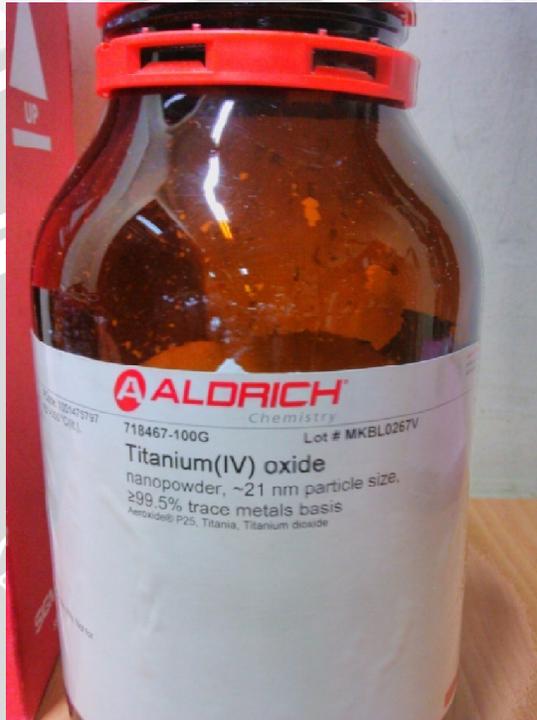


Gambar 2.6 : Kaca TCO Indium Tin Oxide

B. Nanopartikel TiO_2 (*Titanium(IV) oxide*)

Dalam *DSSC* dibutuhkan semikonduktor yang memiliki lebar pita energi yang besar ($>3\text{eV}$) untuk transparansi semikonduktor pada sebagian besar spektrum cahaya matahari. Maka dalam penelitian ini digunakan jenis semikonduktor TiO_2 (*Titanium (IV) Oxide*), jenis ini yang paling sering digunakan karena efisiensi *DSSC* menggunakan TiO_2 masih belum tertandingi. Jenis semikonduktor lain yang dapat digunakan yaitu ZnO , (Uthirakumar, 2011 : 437- 439). Selain itu, TiO_2 dengan struktur nanopori yaitu ukuran pori dalam skala nano akan menaikkan kinerja sistem karena struktur nanopori mempunyai karakteristik luas permukaan yang tinggi sehingga akan menaikkan jumlah dye yang terabsorb yang implikasinya akan

menaikkan jumlah cahaya yang terabsorb. Pada penelitian ini digunakan TiO_2 dari Sigma-Aldrich dengan ukuran partikel sebesar $\sim 21\text{nm}$. Bubuk TiO_2 yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan dalam Gambar 2.7.

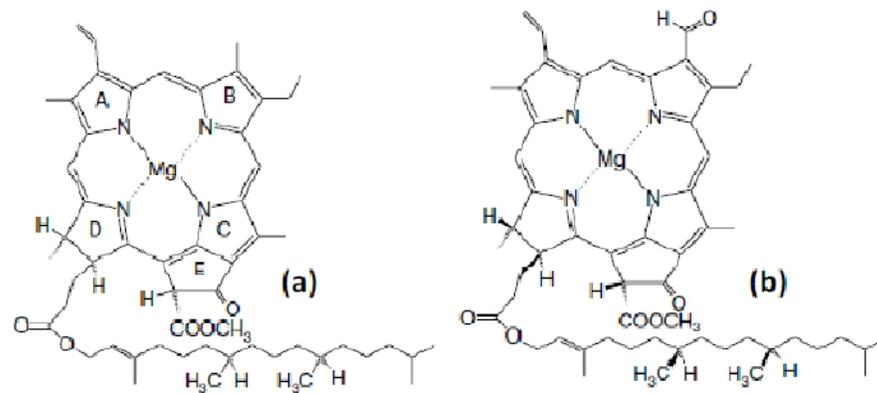


Gambar 2.7 : Titanium (IV) Oxide

C. Dye

Dye dalam *DSSC* berfungsi sebagai penyerap foton dalam cahaya matahari dan kemudian mengubah menjadi energi. *Dye* yang umum digunakan adalah jenis *Ruthenium (Ru) Complex*, karena *dye* jenis itu jika diaplikasikan terhadap *DSSC* akan menghasilkan *DSSC* yang memiliki nilai efisiensi yang tinggi sebesar 10% (Wilman et al., 2007). Namun *dye* jenis *Ruthenium (Ru) Complex* komersil berharga sangat mahal. *Dye* yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan klorofil yang terdapat pada daun pepaya dan daun jarak pagar karena kedua jenis daun tersebut memiliki kandungan klorofil yang cukup besar. *Dye* didapat dengan cara mengekstrak

klorofil dari daun dengan cara ditumbuk kemudian direndam dalam larutan pelarut yaitu larutan ethanol. Struktur kimia dari klorofil ditunjukkan dalam Gambar 2.8.



Gambar 2.8 : Struktur Kimia (a) Klorofil a dan (b) Klorofil b

Sumber : Sholeh et al. 2013: 9

D. Elektrolit

Elektrolit dalam *DSSC* berperan sebagai transport muatan dari *counter-electrode* ke *dye*. Dalam penelitian ini digunakan elektrolit terdiri dari iodide (I^-) dan triiodide (I_3^-) sebagai pasangan redoks dalam pelarut. Karakteristik ideal dari pasangan redoks untuk elektrolit *DSSC* yaitu:

1. Tingginya kelarutan terhadap pelarut untuk mendukung konsentrasi yang tinggi dari muatan pada elektrolit.
2. Pelarut mempunyai koefisien difusi yang tinggi untuk transportasi massa yang efisien.
3. Tidak adanya karakteristik spektral pada daerah cahaya tampak untuk menghindari absorpsi cahaya datang pada elektrolit.
4. Kestabilan yang tinggi baik dalam bentuk tereduksi maupun teroksidasi.
5. Mempunyai reversibilitas tinggi.
6. Inert terhadap komponen lain pada *DSSC*.

E. Counter-Electrode

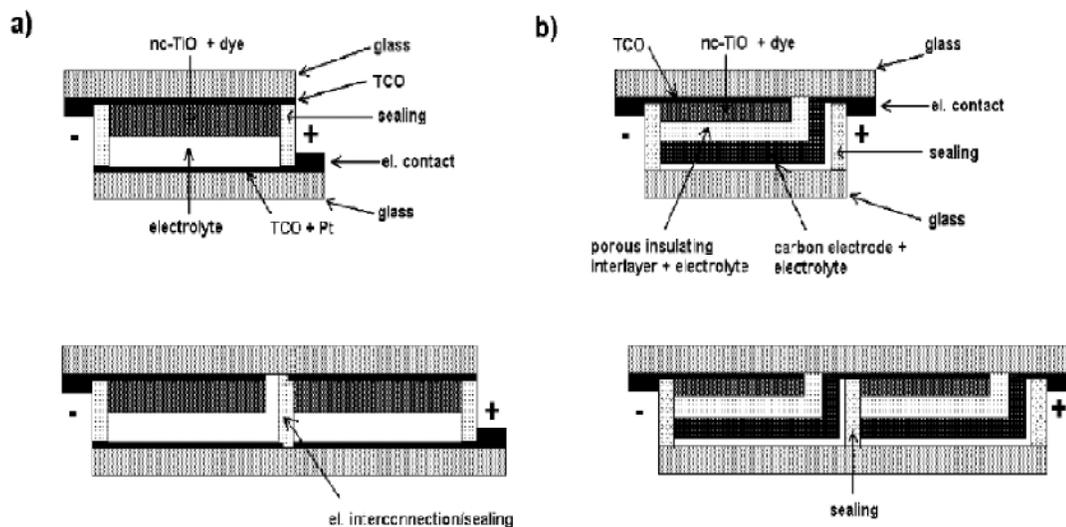
Counter-electrode pada DSSC berfungsi sebagai katalis. Katalis dibutuhkan untuk mempercepat kinetika reaksi proses reduksi triiodide pada TCO. Platina, material yang umum digunakan sebagai katalis pada berbagai aplikasi, juga sangat efisien dalam aplikasinya pada DSSC. Platina dideposisikan pada TCO dengan berbagai metoda yaitu elektrokimia, sputtering, spin coating, atau pyrolysis (Wilman et al., 2007 : 17).

Walaupun mempunyai kemampuan katalitik yang tinggi, platina merupakan material yang mahal. Sebagai alternatif, Kay & Gratzel (1996) mengembangkan desain DSSC dengan menggunakan *counter-electrode* karbon sebagai lapisan katalis (Gratzel, 1996 : 44, 99-117).

2.6. Fabrikasi DSSC

Cara paling umum dalam fabrikasi DSSC di laboratorium yaitu menggabungkan dua kaca dengan lapisan yang berbeda dengan struktur berlapis, sebagai substrat dan superstrat, yang salah satunya yaitu lapisan TiO_2 dimana cahaya masuk dan yang lainnya yaitu *counter-electrode* yang dilapisi katalis contohnya platina. Untuk meminimalisasi biaya produksi pada skala massal, satu sel bisa dideposisikan secara langsung antara kaca dengan luas permukaan yang tinggi.

Selain itu Kay dan Gratzel (1996) mengembangkan tiga lapisan struktur sel *monolithic*, untuk mengadaptasi proses produksi sel surya lapisan tipis sehingga lebih mudah mencapai tahap komersialisasi. Pada struktur *monolithic*, semua lapisan dari sel dapat dideposisikan masing-masing diatas yang lainnya pada satu kaca yang dilapisi TCO, sedangkan satu kaca lain yang berlawanan hanya berfungsi sebagai pelindung dan enkapsulasi. Skema struktur umum DSSC ditunjukkan dalam Gambar 2.9.

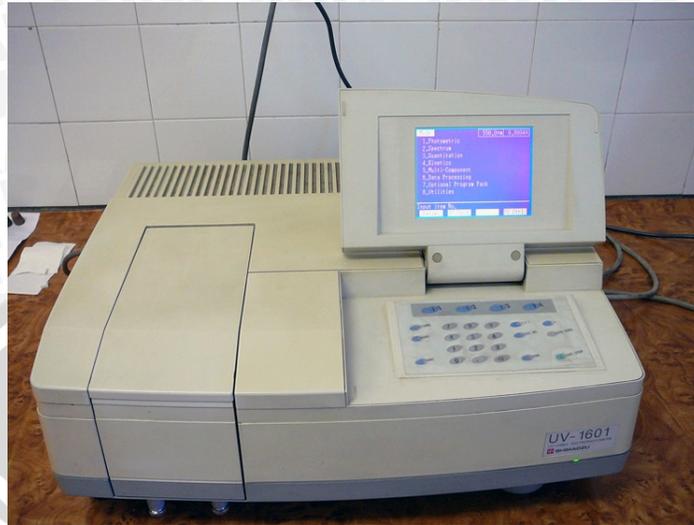


Gambar 2.9 : Skema dari Dua Struktur Umum sel DSSC (atas) dan modul (bawah) (a) Struktur Berlapis, (b) Struktur *Monolithic*

Sumber : Halme, 2002 : 63

2.7. *Spectrophotometer UV-Visible*

Spectrophotometer UV-VIS merupakan alat yang berfungsi untuk menguji tingkat absorpsi klorofil. *Spectrophotometer* bekerja dengan cara menembakkan cahaya dengan spektrum panjang gelombang yang bervariasi melewati sampel uji. Kemudian terdapat penerima cahaya di sisi berlawanan dengan sumber cahaya untuk menangkap dan menghitung jumlah cahaya yang diteruskan setelah melewati sampel uji. Dengan diketahui jumlah cahaya yang diteruskan, maka dapat diketahui berapa jumlah cahaya yang diserap oleh sampel uji, yang dalam penelitian ini berupa ekstrak klorofil. Dalam penelitian ini digunakan *Spectrophotometer* UV-VIS tipe UV-1601 dari Shimadzu dan menguji klorofil pada panjang gelombang 300-800 nm. *Spectrophotometer* UV-VIS tipe UV-1601 dari Shimadzu ditunjukkan dalam Gambar 2.10.

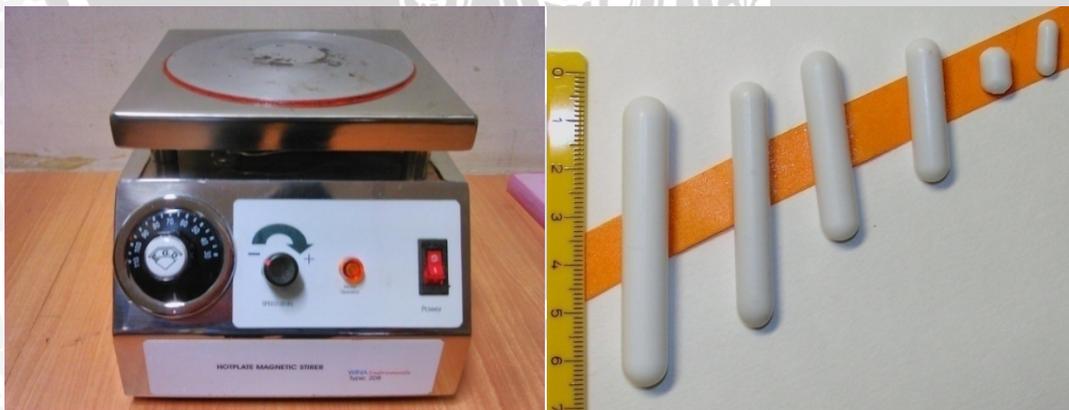


Gambar 2.10 : Spektrofotometer UV-1601

Sumber : Lab. Pengujian MIPA-Kimia UB

2.8. *Magnetic Stirrer dan Magnetic Stir Bar*

Magnetic stirrer merupakan alat homogenisasi cairan kimia. Alat ini menggunakan putaran medan magnet untuk memutar *magnetic stir bar* yang direndam sehingga dapat mengaduk cairan. Dalam penelitian ini digunakan *magnetic stirrer* tipe 208 dari WINA Instruments dan *Magnetic Stir Bar* dengan panjang 2,5 cm. *Magnetic stirrer* dan *magnetic stir bar* ditunjukkan dalam Gambar 2.11.



Gambar 2.11 : Magnetic Stirrer (Kiri) dan Magnetic Stir Bar (Kanan)

2.9. Pelarut

Pelarut dalam penelitian ini digunakan untuk melepas zat klorofil dari daun secara kimiawi sehingga menjadi homogen dengan larutan. Dalam penelitian ini diperlukan senyawa pelarut yang bersifat polar, karena klorofil merupakan senyawa organik yang bersifat polar sehingga ethanol yang bersifat polar dapat menarik dan melarutkan klorofil. Oleh karena itu, pelarut yang digunakan dalam penelitian ini adalah Ethanol. Dengan konsentrasi 70%, 80%, dan 98%.

2.10. Scale

Scale atau timbangan digital dalam penelitian ini digunakan untuk menimbang massa material dan bahan pada orde gram. Pada penelitian ini digunakan scale tipe CLSeries dari OHAUS. Scale tipe CLSeries dari OHAUS ditunjukkan dalam Gambar 2.12.



Gambar 2.12 : Digital Scale OHAUS CL Series

2.11. *Furnace*

Furnace atau tungku listrik dalam penelitian ini digunakan untuk proses perekatan pasta TiO_2 pada permukaan kaca TCO. Pada proses ini, dibutuhkan pemanasan pasta pada temperatur 450°C . *Furnace* yang digunakan pada penelitian adalah *furnace* Vulcan A-550. *Furnace* Vulcan A-550 ditunjukkan dalam Gambar 2.13.



Gambar 2.13 : Furnace Vulcan A-550.