

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam merencanakan dan merealisasikan pembuatan sensor optik berbahan *dye* dan TiO_2 serta pengujiannya dibutuhkan pemahaman yang mendalam mengenai teori-teori penunjang yang mendukung. Teori-teori yang mendukung dalam pembuatan sensor optik meliputi prinsip kerja sensor optik, material-material penyusun sensor optik dan penjelasan alat pembuatan. Sementara itu teori-teori yang mendukung dalam penentuan pengaruh variasi konsentrasi klorofil terhadap performansi sensor optik meliputi penjelasan energi matahari, fotometri dan lampu merkuri.

2.1. Sensor Optik

2.1.1. Definisi Sensor

Sensor adalah alat yang dapat menerima rangsangan dan merespon dengan satu sinyal elektrik. Rangsangan adalah kuantitas, sifat atau kondisi yang dirasakan dan dikonversi ke dalam sinyal elektrik. Tujuan dari suatu sensor adalah untuk merespon suatu sinyal elektrik menjadi nilai elektrik. Sinyal keluaran sensor dapat berupa tegangan atau arus. Sinyal keluaran juga dapat digambarkan sebagai masukan amplitude, frekuensi, fase atau kode digital (Freden, 2003:2).

Pada dasarnya sensor dan tranduser mempunyai definisi sama yaitu menerima rangsangan (gejala fisis) dari luar dan mengubahnya menjadi sinyal listrik. Proses fisis yang merupakan stimulus atau rangsangan sensor dapat berupa fluks magnetic, gaya, arus listrik, temperature, cahaya, tekanan dan proses fisis lainnya. Sensor dan tranduser mempunyai perbedaan yang sangat kecil yaitu pada koefisien konversi energy. Sensor itu sendiri terdiri dari tranduser atau tanpa penguat atau pengolah sinyal yang terbentuk dalam satu indra (Sinclair, 1988:9).

2.1.2. Pengelompokan Sensor

Secara umum berdasarkan fungsi dan penggunaannya sensor dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian yaitu sensor thermal, sensor mekanis, dan sensor optik.

- a. Sensor *thermal* merupakan sensor yang digunakan untuk mendeteksi gejala perubahan panas atau temperatur pada suatu dimensi benda atau dimensi ruang tertentu.

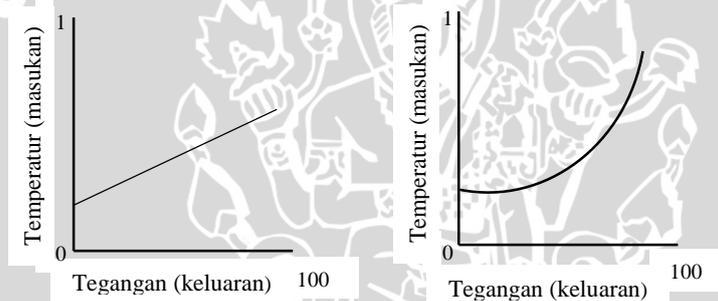
- b. Sensor mekanis merupakan sensor yang digunakan untuk mendeteksi gejala perubahan gerak mekanis, seperti perpindahan atau pergeseran posisi, gerak lurus, dan melingkar.
- c. Sensor optik digunakan untuk mendeteksi perubahan cahaya dari sumber cahaya, pantulan cahaya, ataupun bias cahaya yang mengenai benda atau ruangan (D.Sharon,dkk:1982).

2.1.3. Syarat umum perancangan sensor

Perancangan sebuah sensor juga harus memenuhi persyaratan umum sensor:

a. Linearitas

Ada banyak sensor yang menghasilkan sinyal keluaran yang berubah secara kontinu sebagai tanggapan terhadap masukan yang berubah secara kontinu. Sebagai contoh, sebuah sensor panas dapat menghasilkan tegangan sesuai dengan panas yang dirasakannya (D.Sharon, dkk: 1982). Dalam hal ini dapat diketahui secara tepat bagaimana perubahan keluaran dibandingkan dengan masukannya dalam Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Grafik sistem kerja sensor ultrasonik dengan tanggapan linier (sebelah kiri) dan tanggapan non linier (sebelah kanan)

Sumber: D.Sharon, dkk (1982)

b. Sensitivitas

Sensitivitas akan menunjukkan seberapa jauh kepekaan sensor terhadap kuantitas yang diukur. Sensitivitas sering juga dinyatakan dengan bilangan yang menunjukkan perubahan keluaran dibandingkan unit perubahan masukan. Linieritas sensor juga mempengaruhi sensitivitas dari sensor. Apabila tanggapannya linier, maka sensitivitas juga akan sama untuk jangkauan pengukuran keseluruhan (D.Sharon, dkk: 1982).

Sensitivitas dapat dinyatakan dalam fungsi transfer linear, misalnya seperti Persamaan (2-1) sensitivitas sensor ditunjukkan oleh b . (Fraden, 2003: 30). Pada fungsi transfer menetapkan hubungan antara keluaran S yang dihasilkan oleh sensor dan s : $S = f(s)$ dengan stimulus (masukan) sensor sedangkan fungsi nonlinier, tergantung pada model

matematika pada fungsi transfer. Fungsi transfer logaritmik yang dapat ditunjukkan dalam Persamaan (2-2). (Fraden, 2003: 31).

Fungsi transfer linier:

$$S = a + bs \quad (2-1)$$

dengan :

S : keluaran sensor

a : (*intercept*) keluaran sensor pada saat input 0

b : (*slope*) sensitivitas sensor

Fungsi transfer logaritmik :

$$S = a + b \ln s \quad (2-2)$$

Sensitivitas dengan fungsi transfer tidak linear tidak memiliki nilai yang tetap (Fraden, 2003: 36). Sensitivitas sensor di setiap titik masukan dinyatakan dengan Persamaan (2-3) :

$$b = \frac{dS(s_0)}{ds} \quad (2-3)$$

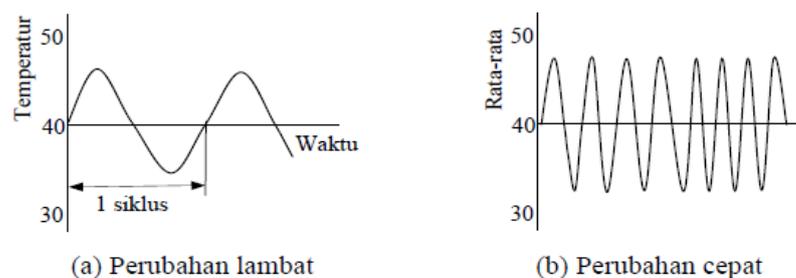
dengan :

$\frac{dS(s_0)}{ds}$: turunan fungsi transfer terhadap s

s_0 : nilai masukan tertentu

c. Tanggapan Waktu

Tanggapan waktu pada sensor menunjukkan seberapa cepat tanggapannya terhadap perubahan masukan. Semakin tinggi tanggapan waktu sensor, maka semakin cepat berubah bila nilai masukannya berubah. Sebagai contoh, instrument dengan tanggapan frekuensi yang jelek adalah sebuah thermometer merkuri. Masukannya adalah temperatur dan keluarannya posisi merkuri (D.Sharon, dkk: 1982). Tanggapan thermometer merkuri dapat dilihat dalam Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Tanggapan Termometer Merkuri
Sumber : D.Sharon, dkk (1982)

d. *Uncertainty* (Ketidakpastian)

Eror disebabkan oleh ketidakmampuan sensor mewakili nilai yang sama pada kondisi yang sama. (Fraden, 2003: 40). Terdapat dua tipe eror dalam hubungan pengukuran. yaitu acak dan sistematis. Hasil dari eror acak bisa diatasi atau dikurangi dengan pengulangan pengukuran atau dengan rata – rata sedangkan hasil eror sistematis tidak dapat dikurangi dengan rata – rata. (Wyatt, 1991: 314). Pengukuran *uncertainty* ketidakpastian perulangan dapat ditunjukkan dalam Persamaan (2-4) sampai Persamaan (2-8).

$$\bar{x} = \frac{1}{N-1} \sum x_i \quad (2-4)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum (x_i - \bar{x})^2 \quad (2-5)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (2-6)$$

$$\varepsilon = \left(\frac{1}{N(N-1)} \sum (x_i - \bar{x})^2 \right)^{\frac{1}{2}} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (2-7)$$

$$\varepsilon_m = \frac{\varepsilon}{\bar{x}} \times 100 \% \quad (2-8)$$

dengan :

\bar{x} : rata – rata

x_i : data ke i

N : banyaknya perulangan pengukuran

σ^2 : variasi

σ : standart deviasi

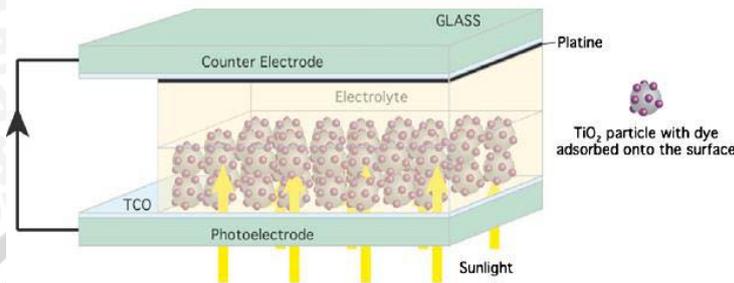
ε : standart error

ε_m : ketidakpastian relatif

2.1.4. Struktur dan Prinsip Kerja Sensor Optik

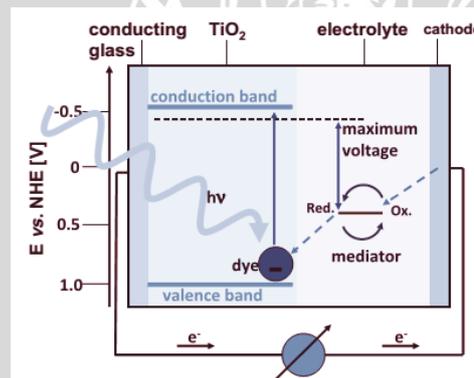
Struktur dan prinsip kerja sensor optik berbahan dasar *dye* dan TiO_2 ini mengacu pada pembuatan DSSC (*Dye-sensitized Solar Cell*). Secara umum DSSC dibentuk melalui mekanisme *photoelectrochemical*, di mana penyerapan cahaya matahari melalui *dye-sensitized* seperti halnya klorofil pada proses fotosintesis daun. Zat pewarna (*dye*) merupakan unsur dari struktur DSSC yang berperan menyerap atau peka (*sensitize*) terhadap cahaya. *Dye-sensitized* berarti *dye* yang dibuat peka (pada struktur lapisan DSSC). Sedangkan proses pembangkitan dan transfer elektron terjadi melalui bahan semikonduktor yang memiliki pita energi yang lebar, umumnya TiO_2 (*Titanium Dioxide*) sebagai

photoelectrode. Larutan elektrolit pasangan redoks I^-/I_3^- sebagai media transport muatan dan elektroda lawan (*counter electrode*) yang diberi lapisan katalis (biasanya platina). Struktur standar DSSC menggunakan dua kaca TCO (*Transparent Conductive Oxide*) sebagai substrat tempat pembentukan *photoelectrode* dan *counter electrode* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



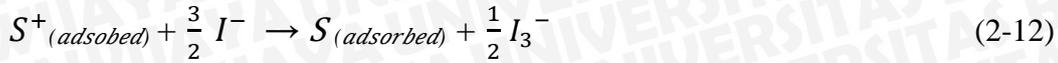
Gambar 2. 3 Struktur standar *dye-sensitized solar cell* / struktur sensor optik
Sumber: Nazeeruddin et al., 2011: 1173

Prinsip kerja sensor optik juga sama seperti prinsip kerja DSSC ditunjukkan dalam Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Prinsip kerja *dye-sensitized solar cell* / prinsip kerja sensor optik
Sumber: Nazeeruddin et al., 2011: 1173

Prinsip kerja sensor dimulai ketika penyerapan foton oleh *dye* (*sensitizer S*) (Persamaan 2-9), elektron e^- pada *sensitizer* bergerak dari level *ground state* menuju ke *excited sensitizer* S^* dan selanjutnya ke pita konduksi pada semikonduktor TiO_2 , sehingga *sensitizer* dalam keadaan S^+ atau *sensitizer* melepaskan elektron (Persamaan 2-10). Elektron mengalir melalui semikonduktor TiO_2 menuju elektroda pada substrat TCO dan kemudian melalui beban eksternal menuju ke *counter electrode* (sebagai katalis) sehingga dapat merubah ion triiodine I_3^- pada elektrolit menjadi I^- (Persamaan 2-11). Iodide I^- pada elektrolit membuat molekul *dye* atau *sensitizer* S^+ kembali keadaan awalnya (*sensitizer S*) (Persamaan 2-12). Terbentuklah suatu siklus transfer elektron terus-menerus sehingga terjadi konversi energi cahaya menjadi energi listrik.



(Nazeeruddin et al., 2011).

2.2. Material Penyusun Sensor Optik Berbahan Dye dan TiO₂

2.2.1. TiO₂

Di alam umumnya TiO₂ mempunyai tiga fasa yaitu rutile, anatase, dan brookite seperti ditunjukkan struktur kristalnya. Fasa rutile dari TiO₂ adalah fasa yang umum dan merupakan fasa yang disintesis dari mineral ilmenite melalui proses Becher. Pada proses Becher, oksida besi yang terkandung dalam ilmenite dipisahkan dengan temperatur tinggi dan juga dengan bantuan gas sulfat atau klor sehingga menghasilkan TiO₂ rutile dengan kemurnian 91-93%. Titania pada fasa anatase umumnya stabil pada ukuran partikel kurang dari 11 nm, fasa brookite pada ukuran partikel 11 – 35 nm, dan fasa rutile diatas 35 nm (Zhang, Banfield, 2000 : 3481). Senyawa TiO₂ umumnya berfasa anatase karena kemampuan fotoaktifnya tinggi. Selain itu, TiO₂ 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. TiO₂ produksi *Sigma-Aldrich*® dengan ukuran partikel sebesar ~21nm ditunjukkan dalam Gambar 2.5.



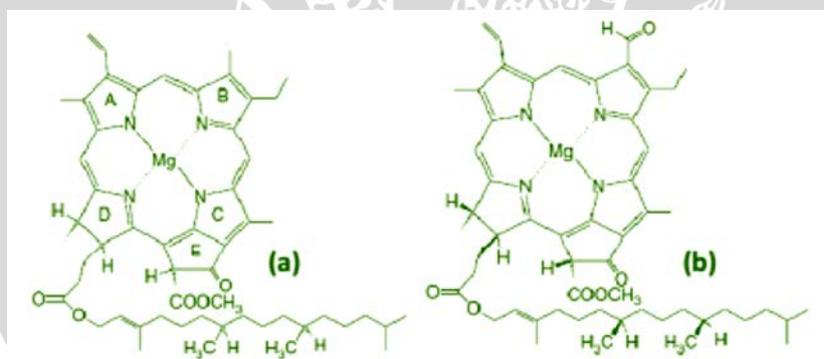
Gambar 2. 5 Titanium (IV) Oxide (oleh Sigma-Aldrich®)
Sumber: Laboratorium Elektronika Proses, TEUB-FTUB

2.2.2. Dye

Dye 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 alga hijau yang memiliki kandungan klorofil cukup besar. Dye didapat dengan cara mengekstrak klorofil alga hijau.

Adapun macam-macam ekstraksi yang sering dilakukan adalah ekstraksi secara panas dengan cara refluks, penyulingan uap air dan ekstraksi serta ekstraksi secara dingin dengan cara maserasi, perkolasi dan alat soxhlet. Dalam penelitian ini metode ekstraksi yang digunakan yaitu maserasi. Maserasi merupakan cara penyarian yang sederhana. Maserasi dilakukan dengan cara merendam serbuk simplisia dalam cairan penyari (Ditjen POM, 1986). Metode ekstraksi maserasi digunakan karena klorofil lebih rentan terhadap panas dan cahaya sehingga dikhawatirkan akan merusak bahkan menghilangkan senyawa yang akan dianalisa (Maulidy dan Laily, 2015 ; 228). Klorofil yang ada dalam alga hijau bersifat polar sehingga dibutuhkan pelarut yang bersifat polar. Berdasarkan penelitian terdahulu (R. Dody, 2014: 78), disebutkan bahwa menggunakan pelarut ethanol 98% menghasilkan ekstraksi klorofil yang maksimum sehingga dijadikan acuan dalam proses pembuatan *dye*. Struktur kimia klorofil ditunjukkan dalam Gambar 2.6.

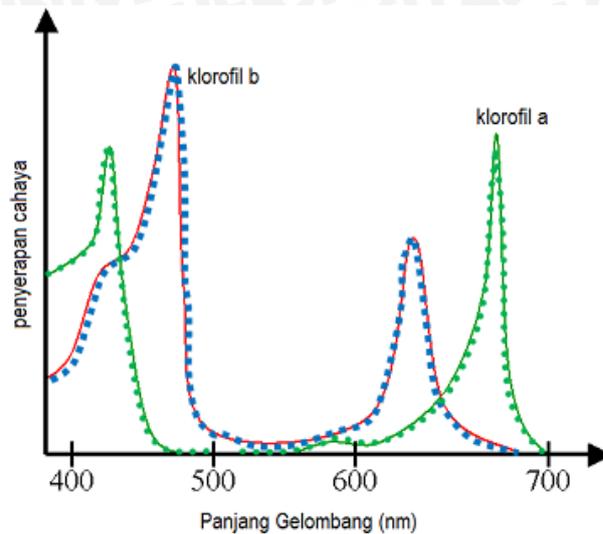


Gambar 2. 6 Struktur kimia (a) klorofil a dan (b) klorofil b

Sumber :Sholeh et al. 2013: 9

Dalam penelitian ini klorofil yang digunakan berasal dari alga hijau yang tergolong ke dalam divisi *Chlorophyta*. Sel-selnya memiliki kloroplas yang berwarna hijau yang jelas seperti pada tumbuhan tingkat tinggi karena mengandung pigmen klorofil a dan b, karotenoid serta lutein. Spektrum penyerapan cahaya oleh klorofil a dan klorofil b ditunjukkan dalam Gambar 2.7. Spektrum cahaya ini didapatkan dari sinar matahari yang mencakup panjang gelombang ultraviolet, cahaya tampak, dan inframerah. Kedua jenis klorofil, baik klorofil a maupun klorofil b memiliki serapan cahaya pada dua daerah panjang gelombang,

yaitu pada panjang gelombang 400 nm – 490 nm untuk klorofil b dan pada rentang panjang gelombang 620 nm – 680 nm untuk klorofil a.



Gambar 2. 7. Spektrum penyerapan cahaya oleh klorofil a dan klorofil b.

Sumber : Pramono et al., 2013 : 9

Jumlah klorofil a, klorofil b, dan klorofil total yang terkandung dalam larutan dye dengan menggunakan perhitungan Wintermans & De Mots (1965) seperti dalam Persamaan (2-13); (2-14); dan (2-15) yaitu,

$$\text{Klorofil a} = 13,7 (OD665) - 5,76 (OD649) \quad (2-13)$$

$$\text{Klorofil b} = 25,8 (OD649) - 7,60 (OD665) \quad (2-14)$$

$$\text{Klorofil total} = 20,0 (OD649) + 6,10 (OD665) \quad (2-15)$$

(Suyitno:2010)

Keterangan:

OD665 : *Optical Density* 665 (penyerapan cahaya pada panjang gelombang 665 nm)

OD649 : *Optical Density* 649 (penyerapan cahaya pada panjang gelombang 649 nm)

2.2.3. Substrat TCO (*Transparent Conductive Oxide*)

Substrat yang digunakan pada pembuatan sensor optik yaitu TCO (*Transparent Conductive Oxide*). TCO merupakan sebuah kaca transparan yang memiliki lapisan konduktif yang berfungsi sebagai tempat mengalirnya muatan pada sensor. Substrat TCO berbahan ITO (*Indium Tin Oxide*) oleh Sigma Aldrich yang dipakai dalam penelitian ini memiliki resistivitas permukaan sebesar 15-25 Ω /sq akan ditunjukkan dalam Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Substrat TCO Indium Tin Oxide (oleh Sigma-Aldrich®).
Sumber: Laboratorium Elektronika Proses, TEUB-FTUB

Material yang umumnya digunakan yaitu *flourine-doped tin oxide* (SnO_2 : F atau FTO) dan indium tin oxide (In_2O_3 : Sn atau ITO) hal ini karena dalam proses pelapisan material TiO_2 kepada substrat, diperlukan proses *firing* pada temperatur 400-500°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).

2.2.4. Elektrolit

Elektrolit dalam sensor optik 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 sensor 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 sensor optik.

2.2.5. Counter Electrode

Counter electrode dipakai sebagai katalis dalam pembuatan DSSC maupun sensor optik ini. Katalis dibutuhkan untuk mempercepat kinetika reaksi proses reduksi triiodide pada TCO.

Platina, material yang umum digunakan sebagai katalis pada berbagai aplikasi (Wilman et al., 2007: 17).

Counter electrode dibuat dengan cara proses deposisi lapisan pada substrat TCO. Bahan lapisan dapat berupa platina, grafit dan karbon. *Counter electrode* dideposisikan pada TCO dengan berbagai metode yaitu elektrokimia, *screen printing*, *firing* (karbon), *sputtering*, *spin coating*, *pyrolysis*, dll.

2.3. Alat-alat Pendukung Pembuatan Sensor Optik

2.3.1. Scale

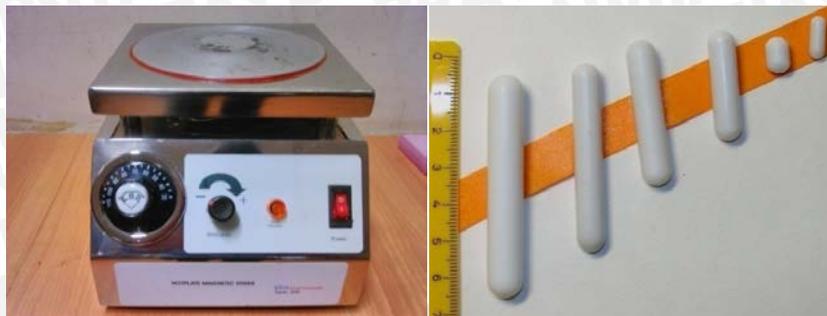
Scale atau timbangan digunakan untuk menimbang material pada orde gram. Pada penelitian ini digunakan timbangan tipe *CL Series* dari *OHAUS* untuk menimbang alga hijau, bubuk TiO_2 , dan material penyusun sensor optik lainnya. Timbangan tipe *CL Series* akan ditunjukkan dalam Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Timbangan tipe CL Series dari OHAUS.
Sumber: Laboratorium Elektronika Proses, TEUB-FTUB

2.3.2. *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 2,5cm. *Magnetic stirrer* dan *magnetic stir bar* ditunjukkan dalam Gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Magnetic stirrer (Kiri) dan magnetic stir bar (Kanan)

Sumber: Laboratorium Elektronika Proses, TEUB-FTUB

2.3.3. 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 2.11.



Gambar 2. 11 Furnace Vulcan A-550

Sumber: Laboratorium Elektronika Proses, TEUB-FTUB

2.3.4. Spectrophotometer UV-VIS 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 pengujian klorofil pada panjang gelombang 300-800 nm dengan menggunakan *Spectrophotometer UV-VIS* tipe UV-1800 dari Shimadzu. *Spectrophotometer UV-VIS* tipe UV-1800 ditunjukkan dalam Gambar 2.12.



Gambar 2. 82 Spectrophotometer UV-VIS tipe UV-1800 dari Shimadzu.
Sumber: Laboratorium Farmasi, Farmasi - Kedokteran UB

Metode Spektrofotometri Ultra-violet dan Sinar Tampak berdasarkan pada hukum LAMBERT-BEER. Hukum tersebut menyatakan bahwa jumlah radiasi cahaya Tampak, Ultra-violet dan cahaya-cahaya lain yang diserap atau ditransmisikan oleh suatu larutan merupakan suatu fungsi eksponen dari konsentrasi zat dan tebal larutan. Hukum ini secara sederhana dapat dinyatakan dalam Persamaan (2-16) (Triyati E., 1985: 44)

$$A = a \cdot b \cdot c \quad (2-16)$$

dengan:

A = Absorbansi (a.u)

a = Absorptivitas (konstanta)

b = Tebal kuvet (cm)

c = Konsentrasi larutan

2.3.5. Lux Meter

Lux meter merupakan alat yang digunakan untuk mengukur intensitas cahaya atau tingkat pencahayaan dalam suatu ruangan. Pada penelitian ini digunakan luxmeter KW06-228 yang ditunjukkan dalam Gambar 2.13.

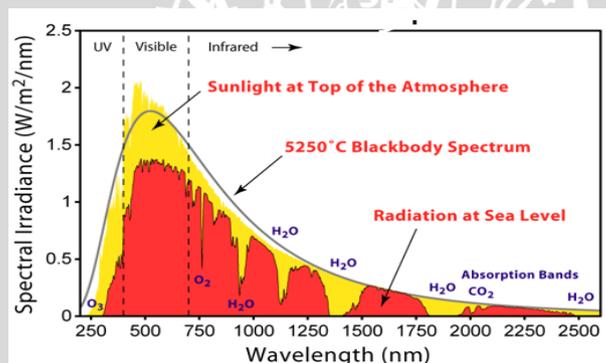


Gambar 2.13. Luxmeter KW06-228
Sumber : Laboratorium Mesin Elektrik, FT-UB

2.4. Energi Matahari

Matahari memancarkan radiasi cahaya dengan berbagai panjang gelombang, mulai dari ultraviolet, cahaya tampak, sampai infrared dari spektrum elektromagnetik. Radiasi ini timbul sebagai akibat dari permukaan matahari yang mempunyai temperatur sekitar 5800 K ($\sim 5500^\circ\text{C}$) sehingga spektrum yang dipancarkan matahari samadengan spektrum dari *blackbody* pada temperatur yang sama. *Blackbody* ini didefinisikan sebagai objek yang menyerap secara sempurna semua radiasi elektromagnetik, dan juga mampu memancarkan radiasi dengan distribusi energi bergantung kepada temperaturnya.

Pada permukaan matahari energi radiasi yang dipancarkan yaitu sebesar 62 MW/m^2 , dan di atas atmosfer bumi radiasinya berkurang menjadi total sebesar 1353 W/m^2 . *Blackbody* pada temperature rata-rata bumi yaitu 300 K, paling kuat memancarkan pada gelombang *infrared* dan radiasinyatidak dapat terlihat oleh mata. Berbeda dengan matahari, saat temperatur sekitar 5800 K, radiasinya paling kuat berada pada gelombang cahaya tampak (*visible*) dengan panjang gelombang sekitar 300-800 nanometer (nm), seperti terlihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2. 149 Persebaran Solar Spectrum
Sumber: J.A. Duffie & W.A. Beckman(1991:65).

2.5. Fotometri

Sumber cahaya memancarkan gelombang elektromagnetik dalam Ultra Violet (UV), spektrum terlihat dan inframerah. Pengukuran semua unsur tersebut disebut radiometri. Fotometri adalah cabang khusus radiometri di mana kita hanya mengukur cahaya tampak. Cahaya adalah suatu bentuk energi yaitu energi pancaran dan diterima oleh indera penglihatan (retina mata). Empat istilah yang digunakan untuk mendeskripsikan cahaya diantaranya, *luminous intensity* (candela), *luminous flux* (lumen) dan *illuminance* (lux) serta *luminance* (candela/m²).

2.5.1. *Luminous intensity*

Luminous intensity adalah ukuran seberapa besar fluks (lumens) dipancarkan dalam sudut kerucut kecil di arah tertentu dari sumber cahaya (lampu) atau lumener. Persamaan (2-17) dari Intensitas cahaya ialah flux cahaya per satuan sudut ruang yang dipancarkan kesuatu arah tertentu diukur dalam candela (cd). Jika 1 cd, melalui sudut ruang 1 steradian akan menghasilkan fluks cahaya 1 lumen (National Framework, 2009).

$$I = \Phi \omega \quad (2-17)$$

Keterangan:

I = Intensitas cahaya dalam candela (cd)

Φ = Fluks cahaya dalam lumen (lm)

ω = Jumlah steradian suatu sudut ruang

2.5.2. *Luminous flux*

Candela menunjukkan seberapa terang cahaya dalam arah tertentu. Istilah luminous flux digunakan untuk mengukur output cahaya tampak lampu, di mana cahaya tidak terarah. Hal ini mengacu pada cahaya tampak dipancarkan ke segala arah pada saat tertentu. Simbol untuk *luminous flux* adalah F atau Φ (phi).

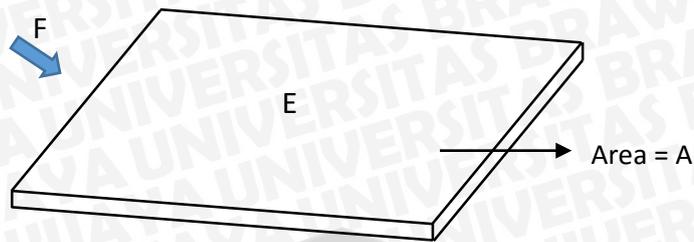
Lumen (lm) adalah samadengan fluks yang dipancarkan oleh sumber titik seragam 1 candela di sudut yang solid dari 1 steradian. Sebuah steradian adalah standar satuan sudut yang solid dalam tiga dimensi. Sebagai contoh, total fluks bercahaya lampu 60W GLS adalah 710 lm. Nilai ini (710 lm) dipancarkan ke segala arah dari lampu.

2.5.3. *Illuminance (Intensitas Penerangan)*

Ketika sinar cahaya mencapai permukaan padat, proses ini dikenal sebagai *illuminance* atau intensitas penerangan. Dengan cara yang sama kita memiliki lumens untuk mengukur *luminous flux*, kita perlu pengukuran untuk jumlah iluminasi. Penerangan E pada suatu titik pada permukaan didefinisikan sebagai *luminous flux* F (lumens) insiden pada elemen kecil dari permukaan dibagi dengan luas A (m^2) dari elemen (National Framework, 2009). Ilustrasi *luminous flux* dan iluminasi dapat dilihat pada Gambar 2.15. Persamaan (2-18) merupakan persamaan intensitas penerangan atau iluminasi cahaya sebagai berikut:

$$E = FA$$

(2-18)



Gambar 2. 15 Ilustrasi Antara Luminous Flux (F) dengan Iluminasi (E)

Dalam SI atau Sistem International unit, unit dasar dari pencahayaan adalah Lumen per meter persegi atau Lux, Sebagai contoh, jika area seluas 0,1 meter persegi menerima fluks bercahaya 20 lumens, penerangan yang biasanya diberikan simbol E, akan sama dengan 20 dibagi dengan 0.1 atau sama dengan 200 lux.

2.5.4. Luminance

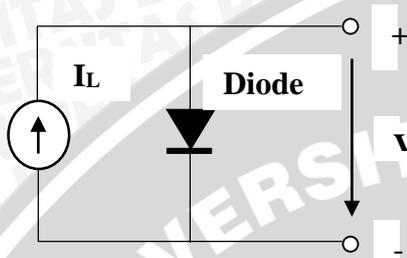
Luminansi adalah jumlah cahaya yang dipantulkan atau diteruskan oleh suatu obyek. Permukaan yang lebih gelap akan memantulkan cahaya yang lebih sedikit daripada permukaan yang lebih terang, karena itu dibutuhkan iluminansi yang sama dengan permukaan yang lebih terang.

2.6. Lampu Merkuri

Pada jenis lampu merkuri, pembatas arus pelepasan menggunakan ballast, karena itu factor dayanya relatif rendah yaitu 0,5. Tabung dalam terbuat dari gelas keras sehingga mampu digunakan pada temperatur relatif tinggi. Cara kerja lampu merkuri terdiri dari 3 tahapan yaitu pengapian, proses pencapaian stabil dan stabil. Pada saat suplai tegangan diberikan terjadi medan listrik antara elektroda kerja awal dengan salah satu elektroda utama. Hal ini menyebabkan pelepasan muatan kedua elektroda dan memanaskan merkuri yang ada disekelilingnya. Setelah semua merkuri menjadi gas, resistansi elektroda kerja awal naik karena panas dan arus mengalir antar elektroda utama melalui gas. Warna kerja awal kemerahan dan setelah kerja normal sinar yang dihasilkan berwarna putih. Kelemahan lampu HPM adalah semakin sering pensaklaran (switching) akan memperpendek umur lampu karena pada awal penyalaan terjadi panas yang melebihi normal. Contoh lampu HPL – N (Pringatun, 2011: 22)

2.7. Pendekatan Pemodelan Rangkaian Ekuivalen (*Dye Sensitized Solar Cell*) dengan 1(Satu) Dioda

Prinsip kerja dari sensor optik mengacu pada prinsip kerja pada DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*). Energi foton dari matahari digunakan oleh DSSC untuk menghasilkan listrik. DSSC yang diberikan iluminasi (kuat pencahayaan) ataupun suhu dapat menghasilkan tegangan (V) dan arus (I). Model rangkaian ekuivalen DSSC dengan 1(satu) dioda ditunjukkan dalam Gambar 2.16 dan Persamaan (2-19) serta Persamaan (2-20).



Gambar 2.16. Model Rangkaian Ekuivalen DSSC dengan 1(satu) Dioda
Sumber: Jensen, 2008.

Berdasarkan Gambar 2.16 didapatkan persamaan arus (I) sebagai berikut:

$$I = I_L - I_0 \left[\frac{qV}{e^{n.k.T} - 1} \right] \quad (2-19)$$

Pada saat sel diberi iluminasi maka dihasilkan arus I_L , sedangkan pengurang merupakan arus pada dioda. Pada saat hubung tutup (*short circuit*), maka $V = 0$ V dan $I_L = I_{sc}$. Tegangan *open circuit* (V_{oc}) terjadi ketika $I = 0$ A maka,

$$V_{oc} = \frac{n.k.T}{q} \cdot \ln \left(\frac{I_L}{I_0} + 1 \right) \quad (2-20)$$

dengan:

I_L : arus luminasi (arus *photo current*)

I_0 : arus saturasi dioda (Ampere)

q : muatan elektron (Coloumb)

n : faktor ideal diode (antara 1 dan 2)

K : konstanta Boltzman ($1,3867 \times 10^{-23}$ J/K)

T : temperatur sel

V_{oc} : tegangan pada saat hubung buka (tegangan yang dihasilkan oleh sensor)

I_{sc} : arus pada saat hubung singkat (arus yang dihasilkan oleh sensor)