

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sensor

2.1.1. Definisi Sensor

Sensor adalah elemen sistem yang secara efektif berhubungan dengan proses di mana suatu variabel sedang diukur dan menghasilkan suatu keluaran dalam bentuk tertentu tergantung pada variabel masukannya, dan dapat digunakan oleh bagian sistem pengukuran yang lain untuk mengenali nilai variabel tersebut. (Bolton, 2006)

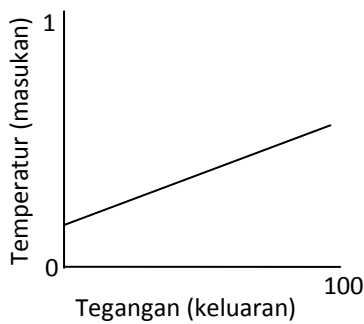
Secara umum berdasarkan fungsi dan penggunaannya sensor dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian yaitu sensor thermal, sensor mekanis, dan sensor optik.

- a. Sensor *thermal* merupakan sensor yang digunakan untuk mendeteksi gejala perubahan panas atau temperatur pada suatu dimensi benda atau dimensi ruang tertentu.
- b. Sensor optik digunakan untuk mendeteksi perubahan cahaya dari sumber cahaya, pantulan cahaya, ataupun bias cahaya yang mengenai benda atau ruangan.
- c. Sensor mekanis merupakan sensor yang digunakan untuk mendeteksi gejala perubahan gerak mekanis, seperti perpindahan atau pergeseran posisi, gerak lurus, dan melingkar. (Sharon, 1982)

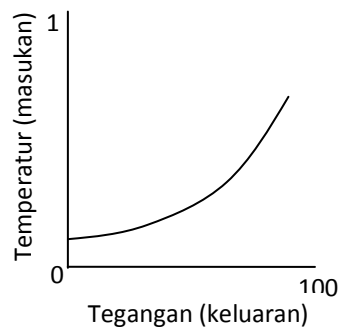
2.1.2. Karakteristik Sensor

a. Linearitas

Ada banyak sensor yang menghasilkan sinyal keluaran yang berubah secara kontinyu sebagai tanggapan terhadap masukan yang berubah secara kontinyu. Sebagai contoh, sebuah sensor panas dapat menghasilkan tegangan sesuai dengan panas yang dirasakannya. Perbedaan antara tanggapan linier dan tak linier ditunjukkan pada Gambar 2.1 (Sharon, 1982).



(a) Tangapan linier



(b) Tangapan non linier

Gambar 2.1. Keluaran sensor (a) tanggapan linier (b) tanggapan non linier
Sumber : Sharon, 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 keseluruhann (Sharon, 1982).

Sensitivitas dapat dinyatakan dalam fungsi transfer linier, misalnya seperti persamaan (2-1) Dalam hal ini sensitivitas sensor ditunjukkan oleh b . (Fraden, 2003).

Fungsi transfer linier:

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

dengan :

S : *output* sensor

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

b : (*slope*) sensitivitas sensor

Pada fungsi transfer menetapkan hubungan antara *output* S yang dihasilkan oleh sensor dan : $S = f(s)$ dengan stimulus (*input*) sensor sedangkan fungsi non linier tergantung pada model matematika fungsi transfer. Fungsi transfer logaritmik yang dapat ditunjukkan dalam persamaan (2-2). (Fraden, 2003)

Fungsi transfer logaritmik:

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

Sensitivitas dengan fungsi transfer non linier tidak memiliki nilai yang tetap (Fraden, 2003: 36). Sensitivitas sensor di setiap titik *input* dinyatakan dengan persamaan (2-3) :

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

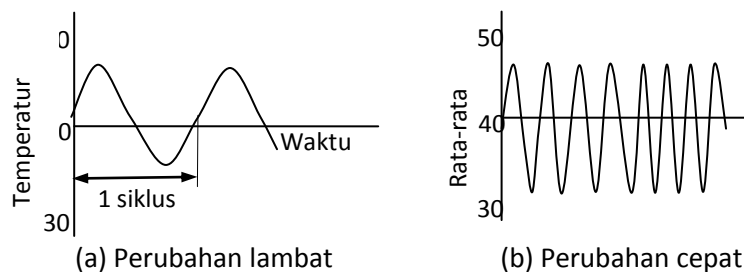
dengan:

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

s_0 : nilai *input* tertentu

c. Waktu respon

Waktu yang dibutuhkan sensor untuk untuk mengenali zat atau benda yang dideteksi. Semakin cepat waktu yang dibutuhkan sensor, maka makin baik pula performansi sensornya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Waktu respon sensor (a) perubahan lambat (b) perubahan cepat
Sumber : Sharon, 1982

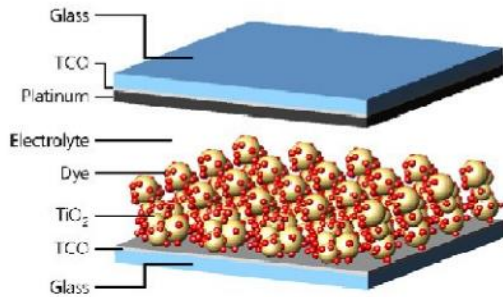
d. *Repeatability* atau Presisi

Repeatability adalah kemampuan sebuah sistem pengukuran dalam memberikan nilai yang sama untuk pengukuran yang dilakukan secara berulang-ulang terhadap nilai variabel yang sama. Kurangnya presisi dalam suatu system pengukuran atau sensor dipengaruhi oleh fluktuasi acak lingkungan. (Bolton, 2006)

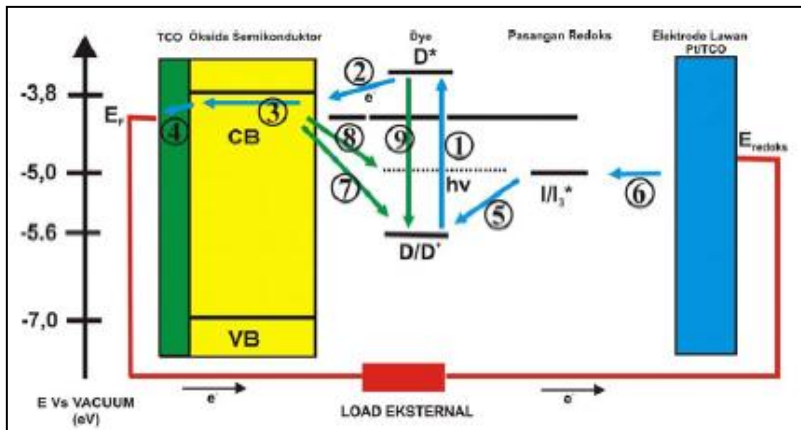
2.1.3. Struktur dan Prinsip Kerja

Struktur dan prinsip kerja sensor optik organik dijelaskan mengacu pada DSSC (*Dye-sensitized Solar Cell*). DSSC terdiri dari beberapa lapisan. Pada bagian atas dilapisi oleh kaca TCO (*Transparent Conducting Oxide*) yang berfungsi sebagai elektroda dan counter-elektroda. Pada TCO counter-elektroda dilapisi katalis untuk mempercepat reaksi transfer elektron, dengan elektrolit.

Pada permukaan elektroda dilapisi oleh lapisan tipis TiO₂ yang mana *dye* teradsorpsi di lapisan TiO₂ seperti pada gambar 2.3. (Sastrawan , 2006). Skema kerja DSSC dijelaskan pada Gambar 2.4.

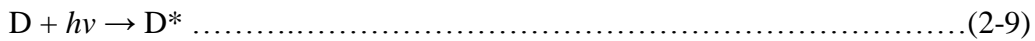


Gambar 2.3 Struktur DSSC
 Sumber : Sastrawan , 2006



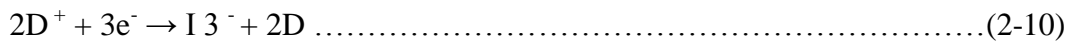
Gambar 2.4. Skema Kerja DSSC
 Sumber : Kartini, 2004

Pada dasarnya prinsip kerja dari sensor optik organik merupakan reaksi dari transfer elektron. Proses pertama dimulai dengan terjadinya eksitasi elektron pada molekul *dye* akibat absorpsi photon. Elektron tereksitasi dari ground state (D) ke excited state (D*).

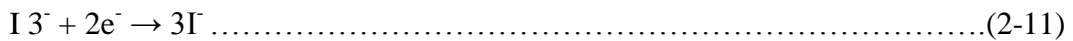


Pada kondisi yang tidak stabil ini, elektron dilepas dan diinjeksikan ke dalam pita konduksi (CB) oksida semikonduktor menghasilkan molekul *dye* dan teroksidasi. Elektron yang diinjeksi pada pita konduksi semikonduktor akan ditransfer melalui TiO₂ menuju elektroda lawan lewat sirkuit eksternal. Adanya donor elektron oleh elektrolit (I) maka molekul *dye* kembali ke keadaan awalnya

(ground state) dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh *dye* yang teroksidasi.

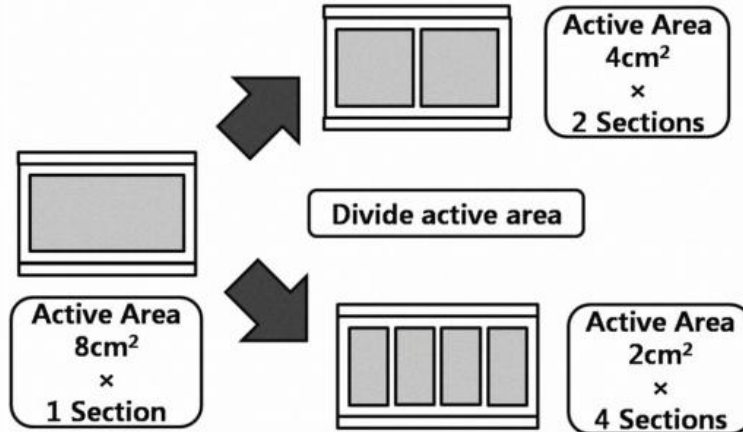


Setelah mencapai elektroda TCO, elektron mengalir menuju counter-elektroda melalui rangkaian eksternal. Dengan adanya katalis pada counter-elektroda, elektron diterima oleh elektrolit sehingga hole yang terbentuk pada elektrolit ($I3^-$), akibat donor elektron pada proses sebelumnya, berekombinasi dengan 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 (Halme,2002).

Pembagian luas pada DSSC mempengaruhi hasil tegangan dan arus DSSC. Pada penelitian yang dilakukan oleh Min Kyu Son diketahui bahwa luasan daerah aktif dssc dibagi dengan jarak antara bagian 2mm seperti Gambar 2.5. Sehingga menghasilkan karakteristik DSSC yang ditunjukkan pada Tabel 2.1



Gambar 2.5. Pembagian daerah luasan DSSC

Sumber :Son, 2008

Tabel 2.1

Perbedaan karakteristik DSSC saat luas daerah aktif dibagi

| Pembagian Daerah Aktif | Voc (V) | Isc (mA) | FF | Eff (%) |
|------------------------|---------|----------|------|---------|
| 1 Bagian | 0,76 | 67,83 | 0,37 | 2,43 |
| 2 Bagian | 0,77 | 72,63 | 0,39 | 2,71 |
| 4 Bagian | 0,79 | 68,42 | 0,43 | 2,85 |

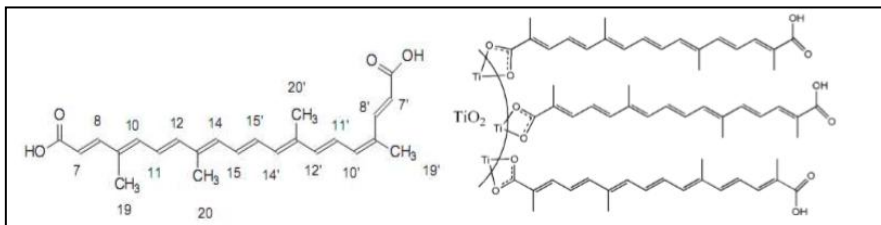
2.2. Material Penyusun

2.2.1. Dye

Proses fotosintesis pada tumbuhan telah membuktikan adanya senyawa pada tumbuhan yang dapat digunakan sebagai *dye*. Zat-zat tersebut ditemukan pada daun atau buah, dalam hal ini *dye* berfungsi sebagai penyerapan foton dalam cahaya matahari dan kemudian mengubah energi.

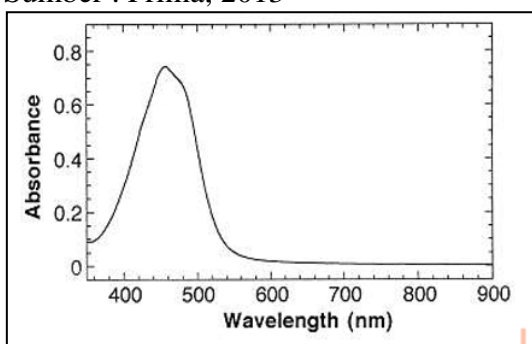
2.2.2.1. Carotene

Carotene merupakan pigmen yang memiliki warna dasar kuning, oranye, dan merah dan digunakan sebagai fotosentizer pada daerah sinar tampak. Pada Gambar 2.5 *carotene* memiliki gugus karboksilat pada ujung rantai senyawanya yang memungkinkan mampu berikatan dengan permukaan TiO₂. Seluruh karotenoid merupakan poliisoprenoid yang memiliki sistem dengan ikatan tunggal dan rangkap terkonjugasi (Prima, 2013). Sedangkan untuk Spektrum penyerapan cahaya *carotene* berada pada 400-500 nm, dengan puncak berada pada 450 nm yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. (Khoiruddin, 2012)



Gambar 2.6 Struktur kimia *carotene* dan ikatannya pada permukaan TiO₂ dalam analisis UV-Vis

Sumber : Prima, 2013



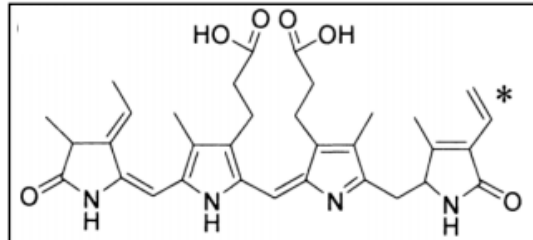
Gambar 2.7 Spektrum penyerapan cahaya *carotene*

Sumber : J. Gao et al, 2013

2.2.2.2. Phycocyanin

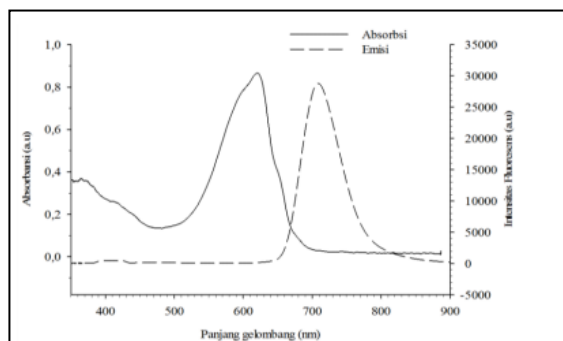
Phycocyanin merupakan kompleks pigmen-protein yang saling berhubungan dan terlibat dalam pemanenan cahaya dan energi transduksi. *Phycocyanin* adalah

pigmen yang paling banyak pada alga hijau biru, dan jumlahnya lebih dari 20% berat kering alga. *Phycocyanin* adalah pigmen dominan pada *Spirulina* (Richmond, 1988). Kandungan *phycocyanin* dalam 500 mg tablets *Spirulina* adalah sebanyak 333,0 mg (Tietze, 2004). Struktur kimia *phycocyanin* ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.8 Struktur kimia *phycocyanin*
Sumber : O Carra & O Heocha , 1976

Berdasarkan penelitian Idawati Supu 2013, pada gambar 2.8 spektrum serapan dan emisi sampel larutan pigmen *phycocyanin* yang diukur dari panjang gelombang 400 nm hingga 700 nm. Pada gambar tampak bahwa karakteristik puncak serapan berada pada wilayah spektrum cahaya tampak (visible). Serapan tertinggi *phycocyanin* berada pada panjang gelombang 619,36 nm yang bersesuaian dengan energi relaksasi 2,94 eV dapat dilihat pada gambar 2.10. Gambar 2.10 memperlihatkan spektrum serapan (absorpsi) dan emisi (fluoresens) ekstrak *phycocyanin* sebagai fungsi energi foton (hv). Spektrum emisi tertinggi pada panjang gelombang 708,55 nm yang bersesuaian dengan energi relaksasi 2,79 eV.

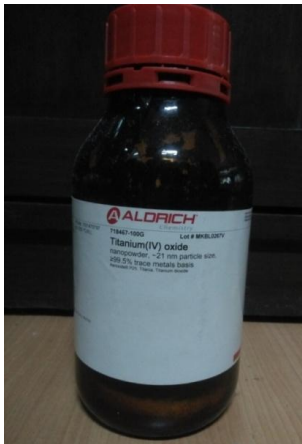


Gambar 2.9 Perbandingan spectrum serapan dan emisi *phycocyanin*
Sumber : Supu dkk, 2013

2.2.2. TiO₂

TiO₂ merupakan bahan semikonduktor yang sudah dikenal luas memiliki sifat optik yang baik. TiO₂ yang ada di alam umumnya mempunyai tiga fasa yaitu

rutile, anatase, dan brookite. Dalam aplikasinya pada fotokatalis, hanya dua fasa yang TiO₂ yang sering digunakan sebagai fotokatalis yaitu anatase dan rutile (Zhang, Banfield, 2000). Terbentuknya fasa anatase maupun fasa rutile pada struktur polikristalin TiO₂ bergantung pada transisi fasa yang kristalin TiO₂. Aplikasi TiO₂ pada fotokatalis, umumnya digunakan TiO₂ pada fasa anatase karena mempunyai kemampuan penyerapan cahaya yang tinggi. Selain itu, untuk meningkatkan kinerja sistem, struktur nanokristal dan juga luas permukaan yang tinggi dari TiO₂ adalah faktor yang penting untuk meningkatkan densitas dan transfer elektron. TiO₂ hanya mampu menyerap sinar ultraviolet (350-380 nm). Untuk meningkatkan serapan spektra TiO₂ di daerah tampak, dibutuhkan lapisan zat warna yang akan menyerap cahaya tampak. Zat warna tersebut berfungsi sebagai sensitizer (Vitriyani & Gatut, 2013)



Gambar 2.10 Titanium (IV) Oxide oleh sigma aldich
Sumber : Laboratorium Elektronika Proses, TE-UB

2.2.3. Substrat TCO

Substrat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah kaca TCO. TCO (*Transparent Conductive Oxide*) yang merupakan kaca transparan konduktif. Material substrat itu sendiri berfungsi sebagai badan dari sensor yang merupakan tempat mengalir muatan. Material penyusun TCO adalah fluorinated tin oxide (Sn:F atau FTO) dan Indium Tin Oxide (ITO). hal ini dikarenakan dalam proses pelapisan material kepada substrat, diperlukan proses sintering pada temperatur 400^o-500^oC dan kedua material tersebut merupakan pilihan yang cocok karena tidak mengalami defect pada range temperatur tersebut (Wijayanti, 2010)

2.2.4. Elektrolit

Elektrolit digunakan untuk menggantikan kehilangan elektron pada pita HOMO dari *dye* akibat eksitasi dari pita HOMO ke pita LUMO karena penyerapan cahaya tampak dilakukan oleh *dye*. Elektrolit juga menerima elektron pada sisi elektroda lawan (Khoiruddin, 2012). Elektrolit yang digunakan adalah iodide (I^-) dan triiodide (I_3^-) yang memiliki sifat stabil dan *reversibility* yang baik.

2.2.5. Elektroda Lawan

Elektroda lawan digunakan dalam proses katalis untuk mempercepat kinetika reaksi proses reduksi triiodide pada substrat. Karena luas permukaannya yang tinggi, elektroda lawan karbon mempunyai keaktifan reduksi triiodide yang menyerupai elektroda platina. Umumnya material yang sering digunakan yaitu platina (William et al., 2007).

2.3. Alat Pendukung

2.3.1. Scale

Scale adalah timbangan digital yang akan digunakan untuk menimbang bahan dan material. Pada Gambar 2.10 menunjukkan tipe scale yang digunakan adalah CL Series dari OHAUS.



Gambar 2.11 Timbangan tipe CL Series Ohaus
Sumber : Laboratorium Elektronika Proses, TE-UB

2.3.2. Magnetic Strirer dan Magnetic Bar

Magnetic Stirrer berfungsi untuk menghomogenkan suatu larutan dengan pengadukan. Alat ini terdapat Plate yang dapat dipanaskan sehingga mampu mempercepat proses homogenisasi. Tipe Magnetic Strirer yang digunakan adalah 208 dari WNA Instruments dan Magnetic Bar dengan panjang 1,5 cm seperti pada Gambar 2.11.



Gambar 2.12 Tipe Magnetic Strirer 208 dari WNA Instruments dan Magnetic Bar 1,5 cm

Sumber : Laboratorium Elektronika Proses, TE-UB

2.3.3. Furnace

Furnace adalah alat yang digunakan untuk pemanasan, dalam furnace terdapat ruang refraktori yang digunakan untuk menempatkan objek yang akan dipanaskan. Ruang tersebut dibangun dengan bahan isolasi sehingga dapat menahan panas pada suhu operasi yang tinggi . Furnace digunakan ditunjukkan pada Gambar 2.12, furnace tersebut untuk proses perekatanan TiO₂ pada permukaan kaca TCO. Pada proses ini dibutuhkan suhu 250°C.

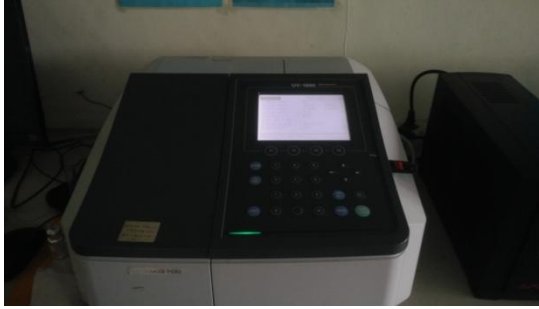


Gambar 2.13 Furnace Vulcan A-550

Sumber : Laboratorium Elektronika Proses, TE-UB

2.3.4. Spectrophotometer UV

Spektrofotometer UV adalah alat untuk mengukur panjang gelombang absorbansi suatu sampel. Spektrofotometer terdiri dari spectrometer yang berfungsi untuk menghasilkan sinar spectrum dengan panjang gelombang tertentu dan fotometer yang berfungsi sebagai alat ukur intensitas cahaya yang diabsorpsi. Spektrofotometer UV yang digunakan adalah Spektrofotometer UV-VIS tipe UV-1800 dari Shimadzu seperti pada Gambar 2.13.



Gambar 2. 14 Spectrophotometer UV-1800
 Sumber : Laboratoium Farmasi Fakultas Kedokteran UB

2.3.5. Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan teknik yang digunakan untuk melihat morfologi permukaan elektroda. Permukaan yang akan diuji dipindai dengan pancaran berkas elektron lalu pantulan elektron ditangkap dan ditampilkan di atas tabung sinar katoda. SEM yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe G2 Pro dari Phenom yang ada di Laboratorium Sentral Mesin, Teknik Mesin Universitas Brawijaya. Berikut adalah SEM yang akan digunakan dapat ditunjukkan pada Gambar 2.14.



Gambar 2. 15 SEM Phenom G2 Pro
 Sumber : phenom-world

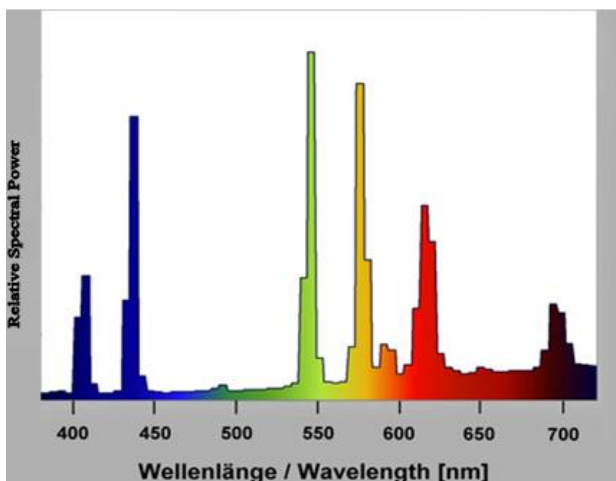
2.3.6. Lux Meter

Lux Meter adalah alat yang digunakan untuk mengukur besarnya iluminasi pada suatu tempat. Iluminansi cahaya sangat mempengaruhi kondisi suatu tempat misalnya kelembaban, suhu dan lain-lain. Pada lux meter terdapat sebuah sensor yang cukup peka dan linier terhadap cahaya. Semakin jauh jarak antara sumber cahaya ke sensor maka semakin kecil nilai yang ditunjukkan lux meter. Ini membuktikan bahwa semakin jauh jarak sensor terhadap cahaya, maka intensitas

cahaya akan semakin berkurang, begitu sebaliknya, jika sensor semakin dekat dengan sumber cahaya, maka intensitas cahaya yang di tunjukkan oleh lux meter semakin tinggi. (Hartati & Surpijadi, 2010).

2.3.7. Lampu Merkuri

Pada jenis lampu merkuri tekanan tinggi, pembatas arus pelepasan menggunakan ballast, karena itu faktor 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. Untuk menguapkan merkuri tersebut diperlukan waktu 4 hingga 8 menit. 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. Akan tetapi lampu merkuri memiliki kelemahan semakin sering pensaklaran (switching) akan memperpendek umur lampu karena pada awal penyalaan terjadi panas yang melebihi normal (Muhaimin,2001 dalam Pringaton, et al 2011). Berikut adalah gambar spectrum lampu merkuri dapat ditunjukkan pada Gambar 2.15. Pada gambar tersebut diketahui bahwa spektrum cahaya lampu merkuri banyak dipancarkan panjang gelombang 530 – 625 nm.



Gambar 2.16 Spektrum Lampu Merkuri

Sumber : narva-gle.com

2.3.8. Fotometri

Fotometri adalah ilmu tentang pengukuran energi dari cahaya. Cahaya adalah suatu bentuk energi yaitu energi pancaran dan diterima oleh indera penglihatan (retina mata). Menurut Yuanita Adriana, 2013 secara eksperimental, mata sensitif terhadap panjang gelombang daerah rendah dari pancaran cahaya sehingga dapat membedakan intensitas antara dua sumber cahaya yaitu dengan mengukur jumlah daya yang dipancarkan oleh cahaya tampak. Jumlah fluks pancaran cahaya yang sama oleh mata diterima berbeda untuk tiap-tiap warna. Umumnya warna hijau paling sensitif untuk mata $\lambda = 5550$. Terdapat besaran-besaran yang terdapat pada Fotometri yaitu:

a. Fluks Cahaya

Flux cahaya adalah arus cahaya yang dipancarkan oleh sumber. Memiliki symbol F dengan satuan Lumen lm.

$$F = 4\pi l \dots\dots\dots(2-12)$$

Keterangan :

F = Flux cahaya (lm)

π = 3,14

l = Kuat penerangan (Cd)

b. Derajat Pancaran

Derajat pancaran adalah banyaknya fluks cahaya yang jatuh tegak lurus pada satu satuan luas permukaan (kuat penerangan pada bidang yang diterangi) . dinyatakan dalam symbol E dengan satuan Lumen.

$$E = \frac{dF}{dA} = \frac{4\pi l}{4\pi R^2} = \frac{\pi l}{R^2} \dots\dots\dots(2-13)$$

Keterangan :

E = Derajat Pancaran (Lux)

F = Flux Cahaya (Lm)

A = Luas permukaan (m^2)

π = 3,14

l = Kuat penerangan (Cd)

R = jarak (m)

c. Derajat Penerangan

Derajat penerangan adalah kuatnya penerangan cahaya dalam satuan luas, memiliki satuan Cd/m^2 .

$$B = \frac{I}{A} \dots\dots\dots (2-14)$$

B= derajat penerangan (Cd/m^2)

I = Kuat penerangan (Cd)

A = Luas permukaan (m^2)

d. Intensitas Penerangan

Intensitas penerangan adalah banyaknya cahaya yang dipancarkan oleh suatu sumber titik persatuan sudut ruang. Memiliki symbol I dengan satuan Candela.

$$I = \frac{dF}{d\Omega} \dots\dots\dots (2-15)$$

I= kuat penerangan (Cd)

dF= Flux Cahaya (Lm)

d Ω = sudut ruang