

# KARAKTERISASI EKSTRAK TEH HITAM DAN TINTA CUMI-CUMI SEBAGAI FOTOSENSITISER PADA SEL SURYA BERBASIS PEWARNA TERSENSITISASI

Oleh :

Rachmawati Ningsih<sup>1</sup>, Erna Hastuti<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Kimia, <sup>2</sup>Jurusan Fisika UIN MALIKI Malang

Email : <sup>1</sup>rachmawati\_ningsih@yahoo.com, <sup>2</sup>ernahastuti19@gmail.com

## ABSTRAK

Salah satu energi alternatif yang berpotensi untuk dikembangkan dalam mengatasi krisis energi dunia adalah sel surya organik. Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan rangkaian Sel Surya Pewarna Tersensitisasi (SSPT) dengan menggunakan zat pewarna organik dari ekstrak kasar teh hitam (*Camellia sinensis*) dan tinta sotong (*Sepia acuelata*). Sistem sel surya terdiri dari kristal TiO<sub>2</sub>, kaca konduktor, zat pewarna (*dye*), larutan elektrolit redoks I<sup>-</sup>/I<sub>3</sub><sup>-</sup> dan elektroda karbon. Kristal TiO<sub>2</sub> dikarakterisasi menggunakan instrumen Difraksi Sinar-X. Ekstrak kasar teh hitam dan tinta sotong dianalisa serapan panjang gelombangnya menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Rangkaian sel surya diukur nilai tegangan dan arus listriknya.

Hasil Difraksi Sinar-X menunjukkan bahwa kristal TiO<sub>2</sub> termasuk fase kristal anatase dengan ukuran kristal sebesar 2,6 nm. Hasil spektra UV-Vis ekstrak kasar teh hitam dan tinta sotong menunjukkan range daerah serapan panjang gelombang berturut-turut yaitu 232-240 nm dan 203-207 nm.

Besar tegangan listrik sel surya tanpa perendaman, pada ruangan tanpa sinar dan di bawah lampu halogen berturut-turut sebesar 0,014 Volt dan 0,023 Volt. Besar tegangan listrik sel surya yang direndam dalam ekstrak kasar teh hitam selama 1 jam pada ruangan tanpa sinar dan di bawah lampu halogen berturut-turut sebesar 0,364 Volt dan 0,401 Volt. Sedangkan yang direndam selama 2 minggu berturut-turut sebesar 0,113 Volt dan 0,18 Volt. Besar nilai arus listrik sel surya tidak dapat diukur, begitu juga dengan besar tegangan listrik sel surya yang direndam dalam ekstrak tinta sotong.

Kata kunci : Sel Surya Pewarna Tersensitisasi (SSPT), kristal TiO<sub>2</sub>, teh hitam tinta sotong

## ABSTRACT

One of the alternative energy potential to be developed to overcome energy crisis in the world is an organic solar cells. In this research has been conducted by making a series of Dyes Sensitized Solar Cells (DSSC) using an organic dye from crude extracts of black tea (*Camellia sinensis*) and ink cuttlefish (*Sepia acuelata*). Solar cell system consisting of crystalline  $\text{TiO}_2$ , glass conductors, dyes, a electrolyte solution  $\text{I}^-/\text{I}_3^-$  and carbon electrodes.  $\text{TiO}_2$  crystals were characterized using X-ray diffraction. Crude extracts of black tea and cuttlefish ink absorption wavelength was analyzed using UV-Vis spectrophotometer. The series of solar cells are measured values of voltage and electric current.

The results of X-ray diffraction showed that crystalline  $\text{TiO}_2$  including anatase crystalline phase and a crystal size is 2.6 nm. The results of UV-Vis spectra of crude extracts of black tea and cuttlefish ink shows the absorption wavelength range in a row of 232-240 nm and 203-207 nm.

Large solar cell power supply voltage without soaking, in a room without light and under a halogen lamp is 0.014 Volt and 0.023 Volt. Large voltage solar cells soaked in crude extracts of black tea for 1 hour at room without light and under a halogen lamp is 0.364 Volt and 0.401 Volt. While that is soaked for 2 weeks is 0.113 Volts and 0.18 Volts.

Keywords: dye sensitized solar cells (DSSC),  $\text{TiO}_2$  crystal, black tea, cuttlefish ink

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Cadangan energi fosil dunia yang semakin menipis, pergolakan politik di negara-negara Timur Tengah yang dikenal sebagai negara produsen minyak bumi, bencana alam yang terjadi di beberapa belahan dunia dan kurangnya kesadaran masyarakat dunia dalam menjaga keberlangsungan sumber daya alam telah memicu terjadinya krisis energi dunia dan meningkatnya harga minyak bumi dan batu bara.

Dalam menghadapi ancaman krisis energi, Indonesia sudah siap dengan regulasi, yaitu Peraturan Presiden No.5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional yang berisi strategi untuk menjamin keamanan energi di Indonesia. Kebijakan ini telah merumuskan bauran energi di tahun 2025 yang mengurangi konsumsi energi fosil dan menggantinya dengan energi baru terbarukan. Energi fosil diproyeksikan berkontribusi hanya 74,2 % dari total konsumsi energi, dengan penggunaan energi dari bahan bakar minyak hanya sekitar 29,7 %. Penggunaan energi baru terbarukan pada tahun 2025 diproyeksikan meningkat menjadi 25 %.

Salah satu energi baru terbarukan yang berpotensi besar dalam pemanfaatan untuk mencapai tujuan tersebut adalah energi surya. Hasil penelitian Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) yang dilakukan di Sulawesi Tenggara, didapat energi harian antara 2 sampai 7 kWh per meter persegi per hari dengan rata-rata harian 5,16 kWh per meter persegi per harinya. Jika

diproyeksikan 10 % dari luas daratan Indonesia (sekitar 192.257 kilometer persegi) dipasang sel surya yang memiliki efisiensi 15 %, maka daya yang dapat dibangkitkan adalah 30.000 GWh per hari. Jumlah tersebut merupakan 30 % dari kebutuhan energi nasional pada tahun 2010 (100.000 GWh) atau 6 % proyeksi kebutuhan tahun 2025 yaitu sebesar 500.000 GWh (Anonymous, 2011). Berdasarkan data-data tersebut, maka perlu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk merumuskan formula pembuatan sel surya yang efektif dan efisien.

Upaya pengembangan sel surya sebagai solusi alternatif krisis energi dunia merupakan hal yang perlu dan penting untuk dilakukan, mengingat sumber energi sel surya yang melimpah dan terbaharukan. Suplai energi surya dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi sangat besar, yaitu mencapai  $3 \times 10^{24}$  joule per tahun. Jumlah energi sebesar itu setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di seluruh dunia saat ini. Jadi dengan menutup 0,1 % permukaan bumi dengan sel surya yang memiliki efisiensi 10 %, sudah mampu untuk menutupi kebutuhan energi di seluruh dunia (Yulianto, 2006 dalam Hardian, dkk, 2010).

Sel surya berdasarkan perkembangan teknologi saat ini dan bahan pembuatannya dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu pertama, sel surya yang terbuat dari silikon kristal tunggal dan silikon multi kristal. Kedua, sel surya tipe lapis tipis (*thin film solar cell*) dan yang ketiga, sel surya organik atau Sel Surya Pewarna Tersensitisasi (SSPT) atau *Dye Sensitized Solar Cell* (SSPT). Diantara ketiga tipe sel surya tersebut, yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan menjadi sumber energi alternatif adalah sel surya organik, karena bahannya

mudah didapat, murah dan ramah lingkungan (Yulianto, 2006 dalam Hardian, *et al.*, 2010).

Sel Surya Pewarna Tersensitisasi (SSPT) tersusun dari beberapa bahan, diantaranya yaitu zat warna (*dye*) yang berfungsi sebagai penyerap radiasi matahari dan semikonduktor celah lebar seperti TiO<sub>2</sub> sebagai transport pembawa muatan. Penelitian tentang sel surya organik dengan menggunakan variasi sumber zat warna alami telah banyak dilakukan, kebanyakan zat warna diekstrak dari bagian-bagian tanaman, diantaranya yaitu kembang sepatu, buah delima, kulit manggis, klorofil alga dan kulit kayu tingi (Kartini, 2009). Tapi penelitian yang mengkaji potensi zat warna pada sumber nabati dan sumber hewani sebagai bahan sel surya organik, sepengetahuan penulis belum pernah dilakukan sebelumnya. Pada penelitian ini dilakukan karakteristik senyawa zat warna hitam dari ekstrak teh hitam (*Camellia sinensis*) dan tinta cumi-cumi (*Sepia officinal*) sebagai bahan pembuatan sel surya organik.

Menurut Puspitarini (2010) kandungan dalam teh antara lain: polifenol (10- 25 %), metilxantin, asam tannin (9-20 %), vitamin C (150-250 mg %), vitamin E (25-70 mg %), beta karoten (13-20 %), kalium (1795 mg %), magnesium (192 mg %). Pada teh hitam, polifenol utama adalah teaflavin dan tearubigin (Mukhtar dan Ahmad, 1998 ; Hilal, Y dan Engelhardt, 2007).

Teaflavin adalah senyawa yang memberikan karakteristik warna dan rasa pada teh hitam. Senyawa teaflavin tersebut antara lain teaflavin, teaflavin-3-gallate, teaflavin-3'-gallate, and teaflavin-3,3'-digallate (Yang *et al.*, 2000). Teh hitam juga terdiri dari senyawa lain yaitu tearubigin (Bode dan Dong, 2003).

Senyawa teaflavin dan tearubigin ini yang diduga dapat menyerap sinar matahari yang lebih baik dari senyawa antosianin yang telah banyak digunakan pada penelitian terdahulu. Teaflavin dan tearubigin mempunyai gugus hidroksil (OH). Gugus hidroksil ini yang berguna sebagai perekat antara senyawa pewarna dengan kaca elektroda (TCO), semakin banyak jumlah dari gugus hidroksil ini akan menjadikan senyawa tersebut dapat menempel pada elektroda dan mempunyai lebih banyak jumlah elektron yang tidak berpasangan yang dapat digunakan sebagai sumber elektron yang akan dieksitasi. Selain itu, senyawa teaflavin dan tearubigin terdiri dari struktur – struktur yang aromatis sehingga akan memudahkan terjadinya delokalisasi elektron dan hal ini juga menurunkan jarak antara level HOMO (*Highest Occupied Molecular Orbital*) dengan level LUMO (*Lowest Unoccupied Molecular Orbital*) menjadi lebih kecil. Hal ini menyebabkan energi yang diperlukan untuk mengalami eksitasi dari HOMO menuju level LUMO menjadi lebih rendah. Teaflavin mempunyai karakteristik pada spektra UV-Vis yaitu memberikan serapan pada daerah panjang gelombang 274 - 378 nm sedangkan pada antosianin memberikan spektra UV-Vis yaitu pada daerah serapan antara panjang gelombang  $\lambda$  450 – 750 nm dengan puncak berada pada sekitar 530 nm (Maddu, Zuhri dan Irmansyah, 2007).

Kelenjar tinta pada sotong jenis *Sepia officinalis* dapat menghasilkan melanin hitam yang terdapat pada kantong tinta (Fiore, *et. al.*, 2004). Warna hitam melanin pada mamalia terdiri dari campuran dua senyawa yang berwarna yakni senyawa dengan warna coklat kehitaman dan senyawa dengan warna kuning kecoklatan. Warna senyawa tersebut berasal dari eumelanin dan feomelanin.

Melanin pada sotong jenis *Sepia Officinalis* mengandung 98% eumelanin (Magarelli, *et. al.*, 2010).

Senyawa eumelanin terdiri atas gugus hidroksi fenil ( $\text{OH}^-$ ), karboksilat ( $\text{COOH}^-$ ) dan amina ( $\text{NH}^+$ ), yang mana gugus tersebut berpotensi dapat berikatan dengan logam (Magarelli, *et. al.*, 2010). Gugus karboksilat dapat menjadikan *dye* lebih efisien karena melekat pada permukaan amfoter oksida  $\text{TiO}_2$ . Gugus karboksilat tersebut bereaksi dengan permukaan oksida dengan membentuk ester. Gugus karboksilat tersebut dapat menaikkan pasangan elektronik *dye* dari tingkat eksitasi (MO yang memiliki orbital p antibonding) menuju tingkat akseptor semikonduktor (pita konduksi  $\text{TiO}_2$ ) (Kalyanasundaram dan Gratzel, 1998). Penelitian Magarelli, *et. al.*, (2010) menyatakan serapan UV-Vis dalam ekstrak melanin *Sepia Officinalis* yang telah dimurnikan dan serapan UV-Vis melanin standart, menunjukkan serapan yang sama yakni pada daerah 200-210 nm.

Sel surya yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan elektroda nanokristal  $\text{TiO}_2$  yang dibuat dari koloid  $\text{TiO}_2$ . Sedangkan untuk mengurangi degradasi elektrolit digunakan elektrolit padat berbasis gel polimer PEG (*polyethylene glycol*) yang mengandung kopel redoks ( $\text{I}/\text{I}^{3-}$ ) sebagai pengganti elektrolit cair.

## 1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini dirumuskan suatu permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana karakterisasi spektra UV-Vis hasil ekstraksi maserasi teh hitam dan tinta sotong menggunakan pelarut metanol?
2. Bagaimana karakterisasi difraktogram XRD kristal TiO<sub>2</sub>?
3. Bagaimana karakterisasi ekstrak kasar teh hitam (*Camellia sinensis*) dan tinta sotong (*Sepia acuelata*) sebagai sensitizer pada sel surya dalam konversi energi cahaya menjadi energi listrik?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Untuk mengetahui karakterisasi spektra UV-Vis hasil ekstraksi maserasi teh hitam dan tinta sotong menggunakan pelarut metanol.
2. Untuk mengetahui karakterisasi difraktogram XRD kristal TiO<sub>2</sub>.
3. Untuk mengetahui karakterisasi ekstrak teh hitam (*Camellia sinensis*) dan tinta sotong (*Sepia acuelata*) sebagai sensitizer pada sel surya dalam konversi energi cahaya menjadi energi listrik.

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu :

1. Sensitizer sel surya organik berasal dari ekstrak teh hitam (*Camellia sinensis*) dan tinta sotong (*Sepia acuelata*).
2. Karakterisasi kristal TiO<sub>2</sub> menggunakan instrumen Difraksi Sinar-X.

3. Ekstraksi teh hitam (*Camellia sinensis*) dan tinta sotong (*Sepia acuelata*) menggunakan metode maserasi dan pelarut metanol.
4. Karakterisasi ekstrak kasar teh hitam (*Camellia sinensis*) dan tinta sotong (*Sepia acuelata*) menggunakan instrumen spektrofotometer UV-Vis.
5. Rangkaian sel surya diukur nilai tegangan dan arus listriknya.

## **BAB II**

### **STUDI PUSTAKA**

#### **2.1 Sel Surya**

Sel surya atau sel fotovoltaik merupakan alat yang mampu mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Efek fotovoltaik merupakan dasar dari proses konversi sinar matahari (foton) menjadi listrik. Efek fotovoltaik ini ditemukan oleh Becquerel pada tahun 1839, dimana Becquerel mendeteksi adanya tegangan foton ketika sinar matahari mengenai elektroda pada larutan elektrolit (Green, 2001; Shah, et al, 1999; Septina, Fajarisandi, Aditia, 2007).

Mekanisme yang bekerja pada sel surya berdasarkan efek photovoltaik dimana foton dari radiasi diserap kemudian dikonversi menjadi energi listrik. Efek voltaik sendiri adalah suatu peristiwa terciptanya muatan listrik didalam bahan sebagai akibat penyerapan (absorpsi) cahaya dari bahan tersebut (Malvino, 1986). Struktur sel surya tandem (*multi-junction*) didesain untuk mengatasi persoalan kehilangan energi ini. Prinsip dasar dari sel surya tandem adalah pembagian spektrum cahaya matahari kedalam dua atau lebih bagian, untuk kemudian masing-masing bagian tersebut dapat diserap oleh beberapa sel surya yang memiliki celah pita energi yang berbeda. Prinsip ini dapat direalisasikan dengan cara membuat tumpukan sel surya dimana sel surya yang paling atas yang memiliki celah pita energi terbesar dibuat trasparan terhadap spektrum cahaya yang tidak diserapnya, sehingga dapat lolos dan diserap oleh sel surya di bawahnya yang memiliki celah pita energi lebih kecil (Araujo, 1989).

Secara garis besar sel surya dibagi menjadi dua bagian berdasarkan material yang digunakan untuk menyerap cahaya matahari, yaitu sel surya anorganik dan organik (Gratzel, 2003). Sel Surya Anorganik (*Inorganik solar cell*) menggunakan bahan anorganik untuk menangkap foton yang dipancarkan oleh matahari. Biasanya menggunakan silikon sebagai material yang menangkap foton yang dipancarkan oleh matahari. Sel Surya Organik (*Organik Solar cell*) menggunakan material organik atau *dye* untuk menangkap foton yang dipancarkan oleh sumber matahari. Material organik yang digunakan diperoleh dari pigmen tumbuhan, karoten, antosianin, klorofil, dan lain sebagainya. Pewarna (*dye*) yang digunakan dapat berlapis tunggal atau lebih. Hingga saat ini penggunaan pewarna (*dye*) secara berlapis masih terbatas. Sistem kerja sel surya organik meniru sistem kerja fotosintesis.

Perkembangan yang menarik dari teknologi sel surya saat ini adalah sel surya ini terdiri dari sebuah lapisan partikel nano (biasanya  $\text{TiO}_2$ ) yang direndam dalam sebuah *fotosensitizer* (pemeka cahaya). Tingginya efisiensi konversi energi surya menjadi listrik dari SSPT merupakan salah satu daya tarik berkembangnya riset mengenai SSPT di berbagai negara akhir-akhir ini, selain dari proses produksi yang sederhana dan biaya produksi yang murah. Sel Surya Pewarna Tersensitisasi dengan bahan dasar  $\text{TiO}_2$  secara umum performanya masih belum tergantikan.

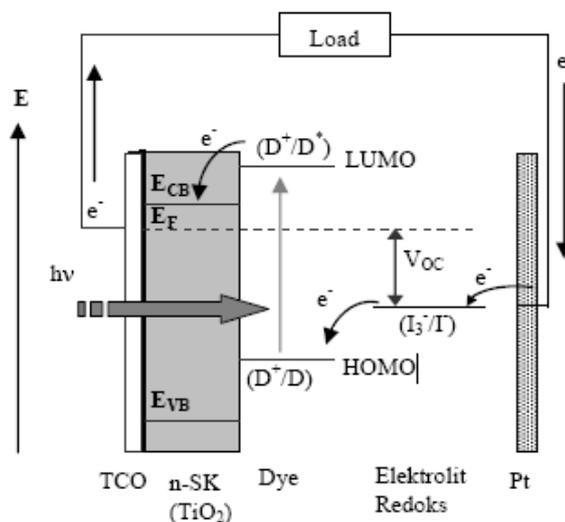
## 2.2 Sel Surya Pewarna Tersensitisasi (SSPT)

Perkembangan sistem konversi energi surya menjadi energi listrik berlangsung melalui sistem yang disebut sebagai sel fotovoltaik. Sel surya merupakan suatu mekanisme yang bekerja berdasarkan efek fotovoltaik dimana foton dari radiasi diserap kemudian dikonversikan (diubah) menjadi energi listrik. Efek voltaik sendiri adalah suatu peristiwa terciptanya muatan listrik didalam bahan sebagai akibat penyerapan (absorpsi) cahaya dari bahan tersebut (Malvino, 1986). Sistem fotovoltaik nonkonvensional yang telah diteliti dan paling terkenal adalah sistem fotovoltaik generasi ketiga yang dikembangkan oleh Michael Grätzel pada 1991 dimana sistem ini dinamakan sel surya pewarna tersensitisasi (*dye sensitised solar cell*) (Halme, 2002).

Sel surya  $\text{TiO}_2$  tersensitisasi *dye* terdiri dari lapisan nanokristal  $\text{TiO}_2$  berpori sebagai fotoanoda, *dye* sebagai fotosensitizer, elektrolit redoks dan elektroda lawan (katoda) yang diberi lapisan katalis (Li, *et. al.*, 2006). Sel surya tersensitisasi *dye* berbentuk struktur *sandwich*, dimana dua elektroda yaitu elektroda  $\text{TiO}_2$  tersensitisasi *dye* dan elektroda lawan terkatalisasi mengapit elektrolit membentuk sistem sel fotoelektrokimia. Berbeda dengan sel surya *p-n* silikon, pada sel surya tersensitisasi *dye* cahaya foton diserap oleh *dye* yang melekat (*attached*) pada permukaan partikel  $\text{TiO}_2$  yang bertindak sebagai donor elektron dan berperan sebagai pompa fotoelektrokimia. Elektron-elektron dari level HOMO (*Highest Occupied Molecular Orbital*) dieksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi, LUMO (*Lowest Unoccupied Molecular Orbital*) ketika molekul *dye* menyerap foton dengan energi yang sesuai, mirip dengan fungsi klorofil pada

proses fotosintesis tumbuhan. Sedangkan lapisan  $\text{TiO}_2$  bertindak sebagai akseptor atau kolektor elektron yang ditransfer dari *dye* yang teroksidasi. Elektrolit redoks, biasanya berupa pasangan iodide dan triiodide ( $\text{I}^-/\text{I}_3^-$ ) yang bertindak sebagai mediator redoks sehingga dapat menghasilkan proses siklus di dalam sel (Smestad dan Gratzel, 1998).

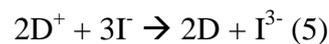
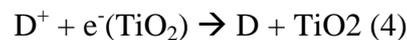
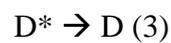
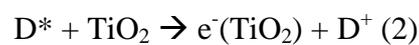
Prinsip kerja sel surya  $\text{TiO}_2$  tersensitisasi *dye* ditunjukkan secara skematik pada Gambar 1, sedangkan urutan proses yang terjadi di dalam sel surya dirangkum pada persamaan (1-5). *Dye* (D) menyerap sebuah foton mengakibatkan elektron tereksitasi dari level HOMO ke LUMO pada molekul *dye*.



Gambar 2.1 Skema Kerja Sel Surya Pewarna Tersensitisasi

*Dye* tereksitasi ( $\text{D}^*$ ) menginjeksi sebuah elektron ke dalam pita konduksi (CB) semikonduktor ( $\text{TiO}_2$ ) yang berada sedikit lebih tinggi daripada level konduksi  $\text{TiO}_2$ . Elektron tersebut melintas melewati partikel-partikel  $\text{TiO}_2$  menuju kontak belakang berupa lapisan konduktif transparan ITO (*Indium Tin Oxide*),

selanjutnya ditransfer melewati rangkaian luar menuju elektroda lawan. Elektron masuk kembali ke dalam sel dan mereduksi sebuah donor teroksidasi (I) yang ada di dalam elektrolit. *Dye* teroksidasi (D<sup>+</sup>) akhirnya menerima sebuah elektron dari donor tereduksi (I<sup>3-</sup>) dan tergenerasi kembali menjadi molekul awal (D). Rangkaian reaksi kimia di dalam sel adalah sebagai berikut (Li, *et. al.*, 2006) :



Tegangan yang dihasilkan oleh sel surya nanokristal tersensitisasi *dye* berasal dari perbedaan tingkat energi konduksi elektroda semikonduktor TiO<sub>2</sub> dengan potensial elektrokimia pasangan elektrolit redoks (I/I<sup>3-</sup>). Sedangkan arus yang dihasilkan dari sel surya ini terkait langsung dengan jumlah foton yang terlibat dalam proses konversi dan bergantung pada intensitas penyinaran serta kinerja *dye* yang digunakan (Li, *et. al.*, 2006).

Salah satu kekurangan dari sel surya fotoelektrokimia ini adalah stabilitasnya yang rendah, terutama akibat degradasi dan kebocoran pada elektrolit cair yang digunakan. Oleh karena itu, akhir-akhir ini pengembangan penelitian sel surya fotoelektrokimia ini diarahkan pada penggunaan elektrolit padat untuk mengurangi degradasi dan kebocoran elektrolit yang dapat meningkatkan stabilitas sel, misalnya elektrolit berbasis polimer yang mengandung kopel redoks

(de Freitas, *et. al.*, 2006) atau berbasis bahan organik atau anorganik sebagai konduktor *hole* (Lancelle, *et. al.*, 2006).

Tipe sel surya fotokimia merupakan jenis sel surya exciton yang terdiri dari sebuah lapisan partikel nano (biasanya  $\text{TiO}_2$ ) yang diendapkan dalam sebuah perendam (dye). Jenis ini pertama kali diperkenalkan oleh Graetzel pada tahun 1991 sehingga jenis sel surya ini sering juga disebut dengan sel Graetzel atau *Dye-Sensitized Solar Cells* (SSPT). Sel Graetzel ini dilengkapi dengan pasangan redoks yang diletakkan dalam sebuah elektrolit (bisa berupa padatan atau cairan) sistem elektrolit redoks yang biasa digunakan umumnya disusun dari pasangan redoks  $\text{I}_3^-/\text{T}$  dalam pelarut organik seperti asetonitril atau 3-metoksi propinitril. Sel surya SSPT tersusun atas dua elektroda dan larutan elektrolit. (O'Regan, 1991)

### **2.3 Bahan semikonduktor celah lebar**

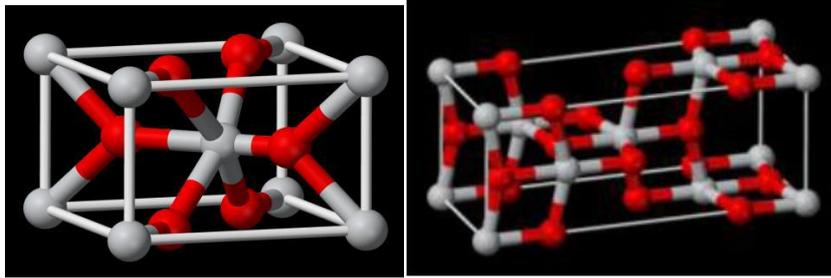
Sel surya fotoelektrokimia membutuhkan substrat konduktif untuk lapisan tipis bahan semikonduktor celah lebar. Sampai saat ini, kaca transparan berkonduktivitas seperti ITO (*tin-doped indium oxide*) dan FTO (*fluorine-doped tin oxide*) dengan ketebalan sekitar 2 mm merupakan substrat paling ideal yang memberikan efisiensi sel surya relatif konstan dan realibel.

Bahan semikonduktor celah lebar yang biasa digunakan adalah  $\text{TiO}_2$ . Beberapa penelitian telah mengkaji penggunaan semikonduktor lain seperti  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{ZnO}_2$  dan  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ , sebagai semikonduktor alternatif dalam SSPT menggantikan  $\text{TiO}_2$ , tetapi belum dapat menghasilkan efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan semikonduktor  $\text{TiO}_2$ . Salah satu teknik sintesis partikel

nano semikonduktor  $\text{TiO}_2$  berpori adalah metoda templat. Metode tersebut mampu menghasilkan partikel nano semikonduktor  $\text{TiO}_2$  yang tersusun atas fasa kristalin anatase atau kombinasi anatase dan rutile dengan kristalinitas tinggi, mempunyai rentang ukuran partikel skala nano yang terkontrol, serta distribusi ukuran partikel yang sempit. (Kartini,2009)

Di alam umumnya  $\text{TiO}_2$  mempunyai tiga fasa yaitu *rutile*, *anatase*, dan *brookite*. Fasa rutile dari  $\text{TiO}_2$  adalah fasa yang umum dan merupakan fasa 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  $\text{TiO}_2$  *rutile* dengan kemurnian 91-93%. Titania pada fase *anatase* umumnya stabil pada ukuran partikel kurang dari 11nm, fasa *brookite* stabil pada ukuran 11-35 nm, dan fasa rutile stabil pada ukuran diatas 35 nm (Septina, Fajarisandi, Aditia, 2007; H. Zhang, J.F. Banfield, 2000).

$\text{TiO}_2$  mempunyai kemampuan untuk menyerap *dye* lebih banyak karena di dalamnya terdapat rongga dan ukurannya dalam nano, yang disebut nanoporous. Struktur *Rutile* dan *anatase* cukup stabil, sedangkan *brookite* sulit ditemukan, biasanya terdapat dalam mineral dan sulit dimurnikan. Struktur *anatase* dan *rutile* dapat dilihat pada gambar dibawah ini (Rahmawati,2011) :



Gambar 2.2 Bentuk Kisi Kristal TiO<sub>2</sub> Fasa *Rutile* (kanan), Fasa *Anatase* (kiri)

Titanium dioksida yang akan digunakan sebagai elektroda dilapiskan pada substrat konduksi seperti halnya pada kaca konduksi, logam foil dan fleksibel polimer film. Dua proses pelapisan TiO<sub>2</sub> yang biasanya dipilih yaitu *doctor-blading* dan *screen-printing* yang secara luas digunakan untuk menyiapkan nanokristalin TiO<sub>2</sub> dengan meratakan dispersi koloid dari partikel TiO<sub>2</sub> pada kaca konduksi sebelum dipanaskan pada suhu tinggi (Kong, Dai dan Wang, 2007). Tabel berikut menunjukkan beberapa hasil penelitian SSPT menggunakan TiO<sub>2</sub> (Halme, 2002).

Semi-conductor	Dye	$\eta$ (%)	area (cm <sup>2</sup> )	illumination (mW/cm <sup>2</sup> )	reference
TiO <sub>2</sub>	?	11	0.25	100 (AM1.5)	Green 2001
TiO <sub>2</sub>	Black Dye	10.4	?	100 (AM1.5)	Grätzel 2000
TiO <sub>2</sub>	N3	10.0	0.3	96 (AM1.5)	Nazeeruddin et al. 1993
TiO <sub>2</sub>	N719 <sup>22</sup>	9.2	1.5	? (AM1.5)	Deb et al. 1998
TiO <sub>2</sub>	RuL <sub>2</sub> (μ- (CN)Ru(CN)L <sup>+</sup> ) <sub>2</sub>	7.1	0.5	75 (AM1.5)	O'Regan & Grätzel 1991
TiO <sub>2</sub>	N3	6	1	100 (ELH lamp)	Hagfeldt et al. 1994
TiO <sub>2</sub>	A Ru -phenantroline derivative	7.3		11.5 (ELH lamp)	
TiO <sub>2</sub>	A Ru -phenantroline derivative	6.1	0.44	100 (AM 1.5)	Yanagida et al. 2000
TiO <sub>2</sub>	a coumarin derivative	5.6	?	100 (AM1.5)	Hara et al. 2001a
TiO <sub>2</sub>	Cu-2- $\alpha$ -oxymesoisochlorin	2.6	0.5	100 ("white light")	Kay & Grätzel 1993
TiO <sub>2</sub>	A natural cyanin-dye	0.56	0.9	100 (AM1.5)	Cherepy et al. 1997

L = 2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylic  
L<sup>+</sup> = 2,2'-bipyridine

## 2.4 Sensitizer

Sinar matahari menghasilkan 5 % spektra di daerah ultraviolet dan 45 % di daerah cahaya tampak.  $\text{TiO}_2$  hanya menyerap sinar ultraviolet (350 – 380 nm). Untuk meningkatkan serapan spektra  $\text{TiO}_2$  di daerah cahaya tampak, dibutuhkan lapisan zat warna yang akan menyerap cahaya tampak. Zat warna tersebut berfungsi sebagai sensitizer. Sensitiser yang digunakan dalam SSPT dapat merupakan kompleks anorganik maupun zat warna organik. Beberapa sifat yang diharapkan terdapat pada molekul zat warna sebagai sensitizer meliputi : (Gratzel,2004) (Halme,2002)

1. pankromatis, yaitu mampu menyerap seluruh warna cahaya tampak,
2. memiliki gugus fungsi yang memungkinkannya untuk terikat pada material semikonduktor celah lebar ( $\text{TiO}_2$ ),
3. mempunyai tingkat energi tereksitasi yang bersesuaian dengan pita konduksi material celah lebar, tidak terlalu jauh sehingga meminimalkan kehilangan energi melalui mekanisme transisi radiasi transfer elektron,
4. mempunyai potensial redoks tingkat energi dasar dan tingkat energi tereksitasi yang sesuai,
5. mempunyai potensial redoks yang cukup besar (positif) sehingga dapat diregenerasi melalui donasi elektron dan elektrolit redoks atau material konduktor *hole*,
6. mempunyai stabilitas kimia dan fisika (khususnya kestabilan terhadap panas).

Penelitian dalam SSPT difokuskan pada upaya penemuan zat warna yang paling efisien sebagai sensitizer sel surya. Berawal dari penggunaan kompleks ruthenium bipyridil, kompleks osmium dan rhenium, hingga mulai banyak dikaji penggunaan zat warna organik seperti kumarin, sianidin, klorofil dan turunannya. Spitler et al, menyatakan bahwa zat warna organik umumnya memiliki koefisien absorbs yang lebih tinggi daripada kompleks logam. Karakteristik tersebut memberikan keuntungan karena akan menurunkan jumlah zat warna yang digunakan dan menurunkan ketebalan film semikonduktor. Zat warna organik yang biasa digunakan sebagai sensitizer sel surya mempunyai koefisien ekstingsi absorbs sekitar  $10^5$  / Mcm. Zat warna organik dalam rhodamin, siamin, kumarin dan santehn yang memiliki koefisien absorpsi  $10^5$  / Mcm dapat melekat pada permukaan TiO<sub>2</sub> melalui pembentukan kelat gugus hidroksil, karboksil atau karbonil. Berbagai jenis ekstrak tumbuhan telah digunakan sebagai fotosensitizer pada sistem sel surya tersensitisasi *dye*. Sebuah kelompok peneliti di Jepang, Zhang *et.al* .(2002) telah mencoba lebih dari dua puluh jenis *dye* alami dari ekstrak tumbuhan sebagai fotosensitiser pada sistem sel surya ini, diantaranya adalah kol merah, kunyit, teh hijau, dan sebagainya. Kelompok lain dari Brazil, Garcia *et.al*. (2003) juga intensif mengembangkan sel surya berbasis *dye* alami.

Beberapa penelitian yang lain mengkaji penggunaan zat warna yang diekstrak dari tumbuh-tumbuhan sebagai sensitizer sel surya. Smestad dan Gratzel telah menggunakan berry California (*Rubus ursinus*) sebagai sensitizer. Berry California mengandung pigmen antosianin utama yang terdiri dari campuran sianin-3-glikosida dan sianin-3-rutinosida, merupakan zat warna alam yang baik

untuk sensitisasi. Efisiensi konversi sinar matahari menjadi energy listrik untuk sel surya berbasis sensitiser antosianin atau klorofil berkisar antara 0,5 – 1 %.

Pemanfaatan zat warna alam yang diekstrak dari buah delima (*Punica granatum L*) sebagai sensitizer SSPT fasa padat juga telah dilakukan oleh Sirimanne et al. ekstrak buah delima memiliki kandungan utama turunan sianin dan terdapat sebagai flafilum pada pH~3,4 pigmen buah delima menunjukkan pita serapan di daerah cahaya tampak dengan puncak pada 510 nm. Sel surya menggunakan buah delima ini menghasilkan arus  $5 \pm 0,5 \text{ mA/cm}^2$  dan tegangan  $300 \pm 40 \text{ mV}$ .

Penggunaan ekstrak antosianin pada kol merah sebagai sensitizer sel surya  $\text{TiO}_2$  dilakukan oleh Maddu (2007). Pengujian sel dilakukan dengan melakukan penyinaran sinar halogen 24 Watt dengan intensitas  $4 \text{ mW/cm}^2$  pada jarak 30 cm. hasil pengujian menunjukkan karakteristik I-V yang ideal dengan keluaran : tegangan rangkaian terbuka 500 mV, arus rangkaian pendek  $5,6 \mu\text{A}$  dan  $7,2 \mu\text{A}$ , konversi energy 0,023 % dan 0,055 % untuk sel yang direndam dalam dye selama 1 jam dan 24 jam.

## **2.5 Sistem Elektrolit Redoks**

Larutan elektrolit yang biasa dipakai adalah pasangan redoks  $\text{I}^-/\text{I}_3^-$ . Elektrolit pasangan redoks dalam sistem SSPT dibuat dengan melarutkan  $\text{I}_2$  dalam pelarut bersama dengan garam Iodin seperti KI, LiI, alkil metilimidazolium iodine dan metal-heksilimidazolium iodine. Wolfbauer (2001) melaporkan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara kation dalam garam iodine dengan

kinerja sel surya. Arus yang dihasilkan meningkat secara linier dengan adanya diameter kation, kation paling kecil  $\text{Li}^+$  dan  $\text{K}^+$  menunjukkan hasil terbaik. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa konsentrasi relatif antara  $\text{I}_3^-$  dengan  $\text{I}^-$  dalam larutan elektrolit merupakan faktor penentu kinerja sel surya.

Pelarut elektrolit yang digunakan secara umum dalam SSPT adalah asetonitril. Akan tetapi pelarut tersebut memiliki kelemahan yaitu bersifat lebih mudah menguap dengan titik didih  $82\text{ }^\circ\text{C}$  yang merupakan temperatur yang dapat dicapai sel surya pada kondisi terkena radiasi sinar matahari secara penuh. Selain itu asetonitril bersifat toksik dan karsinogenik sehingga tidak dapat digunakan dalam SSPT komersial. Beberapa penelitian mencoba mengganti elektrolit cair dengan menggunakan elektrolit berupa gel atau padat.(Chmiel,1998)

## 2.6 Elektroda Lawan

*Counter* elektroda dibutuhkan untuk mempercepat kinetika reaksi proses reduksi triiodide pada TCO. Platina adalah material yang umum digunakan sebagai *counter* elektroda pada berbagai aplikasi, juga sangat efisien dalam aplikasinya pada SSPT. Platina dideposisikan pada TCO dengan berbagai metode yaitu elektrokimia, *sputtering*, *spin coating*, atau *pyrolysis*. Walaupun mempunyai kemampuan sifat katalitik yang tinggi, platina merupakan material yang mahal. Sebagai alternatif, Kay dan Gratzel (1996) mengembangkan desain SSPT dengan menggunakan *counter* elektroda karbon sebagai lapisan katalis. Elektroda karbon tersebut terbuat dari campuran karbon hitam, grafit bubuk dan nanokristalin partikel  $\text{TiO}_2$ . Elektroda tersebut memiliki konduktivitas tinggi (resistensi  $5\ \Omega /$

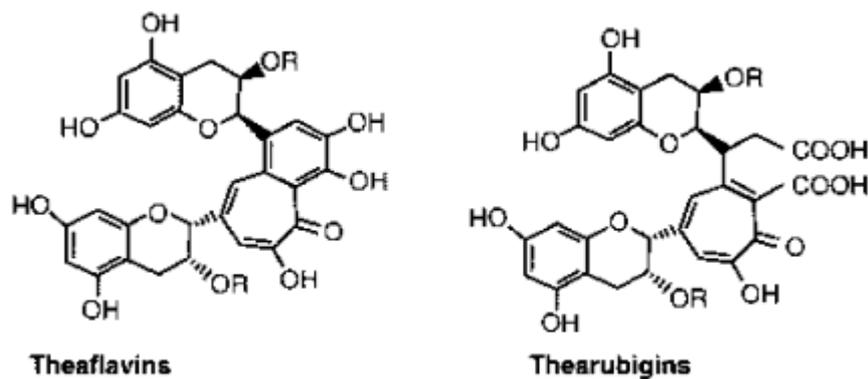
persegi untuk tebal setiap lapisan 50  $\mu$ ) diperoleh karena karbon hitam antar partikel grafit dihubungkan sesamanya, dengan  $\text{TiO}_2$  yang digunakan sebagai pengikat. Elektroda ini aktif untuk reduksi triiodida seperti elektroda konvensional platina. Karena luas permukaannya yang tinggi, *counter* elektroda karbon mempunyai keaktifan reduksi triiodida yang menyerupai elektroda platina (Septina, dkk., 2007).

## **2.7 Struktur Zat Warna Teh Hitam**

Berdasarkan pengolahannya, teh dapat dibedakan dalam tiga kategori utama yaitu teh hijau (tidak mengalami fermentasi), teh oolong (semi fermentasi) dan teh hitam (fermentasi penuh) (Yulia, 2006). Teh hitam diperoleh melalui proses fermentasi. Dalam hal ini fermentasi tidak menggunakan mikrobia sebagai sumber enzim, melainkan dilakukan oleh enzim polifenol oksidase yang terdapat di dalam daun teh itu sendiri. Pada proses ini, katekin (flavanol) mengalami oksidasi dan akan menghasilkan tearubigin. Caranya adalah sebagai berikut : daun teh segar dilayukan terlebih dahulu pada tempat pelayuan selama 8-12 jam untuk menurunkan kadar airnya menjadi 70%, kemudian digiling sehingga sel-sel daun rusak. Selanjutnya dilakukan fermentasi pada suhu sekitar 22-30 °C dengan kelembaban 90%. Lamanya fermentasi sangat menentukan kualitas hasil akhir; biasanya dilakukan selama 2-4 jam. Apabila proses fermentasi telah selesai, dilakukan pengeringan sampai kadar air teh kering mencapai 4-6% (Tuminah, 2004).

Tahapan utama pada pembuatan teh hitam terdapat pada tahap ketiga yaitu proses fermentasi. Pada tahap ini katekin dapat teroksidasi menjadi teaflavin (1-2%) dan tearubigin (10-20%) melalui bantuan enzim *polifenol oksidase* dan membentuk warna dan cita rasa yang khas . Selama proses fermentasi, enzim yang ada di dalam daun teh bersentuhan dengan udara dan mulai teroksidasi, hal inilah yang menghasilkan aroma, warna, dan mutu yang khas dari teh hitam (Yulia, 2006):

**Major black tea polyphenols**



Gambar 2.3. Senyawa Polifenol Utama Pada Teh Hitam (Anesini, et al., 2008)

Teaflavin adalah senyawa yang memberikan karakteristik warna dan rasa pada teh hitam. Teaflavin berwarna oranye sedangkan tearubigin berwarna merah kecoklatan (Scharbert, Holzmann, Hofmann, 2004). Teh hitam juga terdiri dari senyawa lain yaitu Tearubigin tetapi sedikit yang mengetahui tentang kegunaanya (Bode, Ann M. dan Dong, Zigang, 2003). Teaflavin berkontribusi pada *briskness* serta kecerahan dari teh hitam, sementara tearubigin berkontribusi pada warna dan rasa, dan kafein memberikan efek stimulasi dari teh hitam (Balentine dan

Bouwens, 1997). katekin teh teroksidasi untuk membentuk oligomer flavanol, termasuk teaflavin, tearubigin, dan oligomer lainnya. Teaflavin termasuk campuran teaflavin (TF-1), teaflavin-3-gallate (TF-2a), teaflavin-3'-gallate (TF-2b), dan teaflavin-3,3'-digallate (TF-3) (Lin, et.al, 2000).

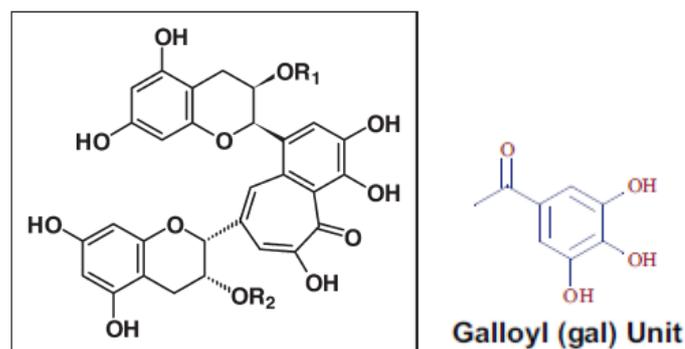
Teh hitam memiliki kandungan katekin yang rendah yaitu (3% - 10% [b/b]), dengan teaflavin dan tearubigin masing - masing berkisar antara 2% - 6% (b/b) dan 10% - 20% (b/b) dari berat kering daun. Teaflavin, yang berkisar antara 2% sampai 6% dari berat sampel teh kering, berwarna oranye atau merah keoranyean (Owuor et.al 2006 ; Sajilata, et al., 2008):

EC + EGC → teaflavin

EC+ EGCG → teaflavin-3-gallate

ECG + EGC → teaflavin-3-gallate

ECG + EGCG → teaflavin-3,3'-digallate



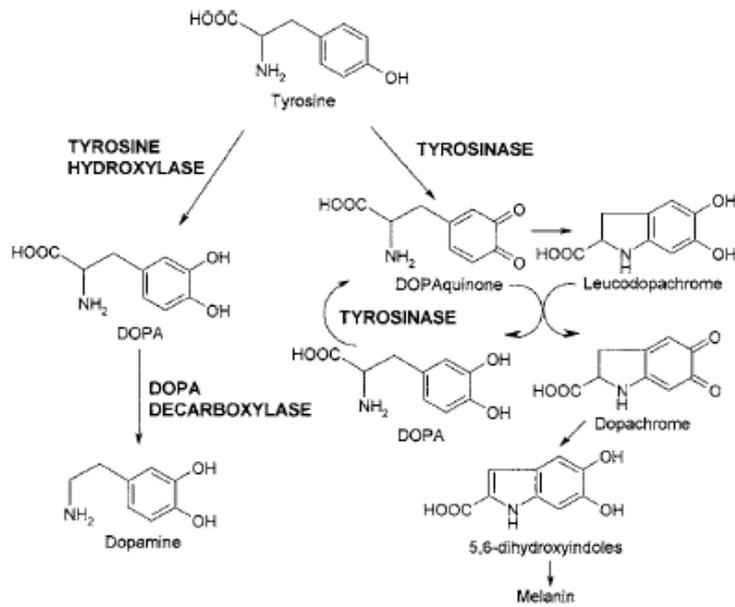
Keterangan : (Teaflavin: R<sub>1</sub>=R<sub>2</sub>=H; Teaflavin-3'-gallate R<sub>1</sub>= galloyl, R<sub>2</sub>=H; Teaflavin-3-gallate R<sub>1</sub>=H, R<sub>2</sub>=galloyl, Teaflavin-3,3'-gallate:R<sub>1</sub>=R<sub>2</sub>=galloyl)

Gambar 2.4. Struktur Teaflavin (Hilal dan Engelhardt, 2007).

## 2.8 Struktur Zat Warna Tinta Sotong

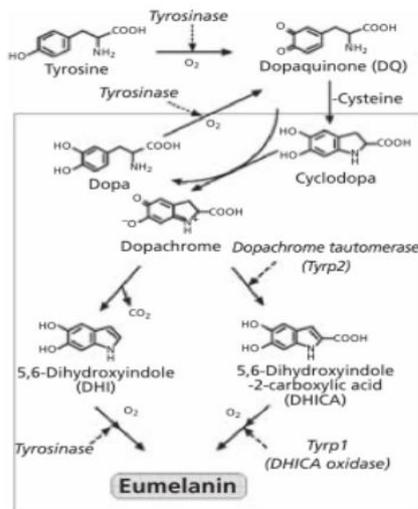
Tinta sotong pada umumnya mengandung senyawa kimia tirosinase yang dapat merusak indra pembau dan perasa predator. Tinta cephalopoda juga mengandung neurotransmitter dopamin (DA) dan L-dopa. Menurut beberapa penelitian, senyawa tersebut dapat berfungsi memberikan rangsang cephalopoda lain dalam kehadiran predator. Tiap-tiap jenis cephalopoda memproduksi tinta yang berbeda, pada umumnya, jenis *octopuses* memproduksi tinta yang hitam, jenis *squid* memiliki tinta yang berwarna biru kehitaman dan jenis *cuttlefish* memiliki tinta berwarna coklat (Anonymous<sub>4</sub>, 2011).

L-dopa disintesis dari prekursor tirosin dengan bantuan enzim tirosin hidroksilase kemudian untuk membentuk dopamin dengan bantuan enzim dopa karboksilase. Melanin dihasilkan dari 5,6-dihidroksiindol (Fiore, 2004). Melanin adalah warna pigmen paling umum pada hewan. Melanin memberikan warna hitam, coklat, abu-abu (McGraw, 2005). Biosintesis senyawa tersebut ditunjukkan dengan reaksi sebagai berikut :



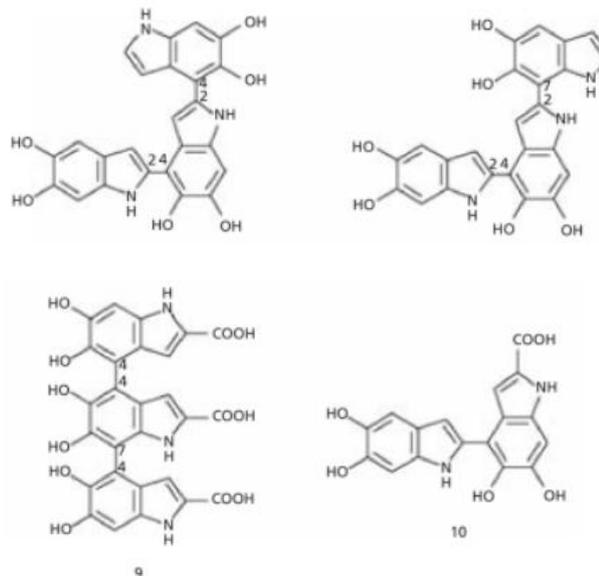
Gambar 2.5 Skema Metabolisme Tirosin

Penelitian Magareli et. al., 2010 menjelaskan, bahwa melanin pada sotong *Sepia Officinalis* mengandung 98% eumelanin. Eumelanin tersebut merupakan polimer yang terdiri atas 20% kopolimer 5,6-dihidroksiindol (DHI) dan 75% pasang kopolimer 5,6-dihidroksindol-2-asam karboksilat (DHICA). Berikut biosintesis eumelanin (Nordlund, 2006):



Gambar 2.6 Biosintesis Eumelanin

Struktur oligopolimer eumelanin tersusun atas DHI dan DHICA yang terbentuk dengan bantuan enzimatik. Macam-macam bentuk polimer tersebut ditunjukkan sebagai berikut gambar dibawah (Nordlund, 2006) :



Gambar 2.7 Beberapa Kemungkinan Polimer Eumelanin

## 2.9 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis merupakan suatu metode identifikasi yang didasarkan pada struktur elektronik molekul, yang dikenal sebagai spektroskopi elektronik (Sastrohamidjojo, 1991).

Spektroskopi UV-Vis merupakan suatu metode identifikasi gugus fungsi dari sampel. Spektrum yang diabsorpsi oleh suatu senyawa adalah sejumlah sinar yang diserap oleh satu senyawa pada panjang gelombang tertentu. Untuk senyawa berwarna akan memiliki satu atau lebih penyerapan spektrum yang tertinggi di daerah spektrum tampak (400-700 nm). Spektrum yang terserap pada ultra violet (200-400 nm) dan daerah nampak terjadi karena adanya perubahan energi elektron terluar dari molekul yang disebabkan adanya ikatan atau bukan ikatan. Umumnya elektron yang berpindah tempat ini disebabkan adanya ikatan rangkap karbon-karbon atau pasangan nitrogen dengan oksigen. Biasanya cahaya tampak merupakan campuran dari cahaya yang mempunyai berbagai panjang gelombang, dari 400-700 nm. Transisi yang penting pada daerah ultraviolet dan tampak yaitu transisi  $n \rightarrow \pi^*$  dan  $\pi \rightarrow \pi^*$ , sedangkan transisi  $n \rightarrow \sigma^*$  jarang terjadi (Fessenden and Fessenden, 1982).

Menurut Magelli *et. al.*, (2010), Spektra UV-vis senyawa melanin yang telah dipurifikasi memberikan serapan pada 250-950 nm. Semua spektra yang tampak pada serapan senyawa melanin yang telah dimurnikan memberikan serapan UV-vis yang kuat pada daerah 200-300 nm. Serapan tersebut disebabkan oleh adanya eksitasi  $\pi \rightarrow \pi^*$  dan  $n \rightarrow \pi^*$  pada gugus amino, karbonyl, dan gugus aromatik.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

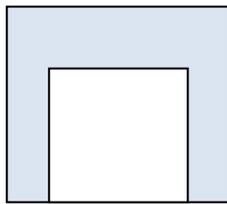
#### **3.1 Bahan dan Alat**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi substrat kaca berlapis bahan *Transparent Conductive Oxide* (TCO), koloid TiO<sub>2</sub> (TiNano 40), Iodolyte (TG-50), Polietilen Glikol 4000 (PEG 4000), asetilaseton, etanol, metanol, asam asetat, aseton, kloroform, teh hitam, tinta sotong dan pensil 2B. Peralatan yang digunakan antara lain multimeter, Magnetic Stirrer Hotplate, Scotch (3M) tape, batang gelas (*glass stirring rod*), neraca Ohaus 311, kertas tisu, filter, mortar, pH Indikator Acilit (pH 0-6), Lampu Halogen 24 Watt, Spektrofotometer UV-Vis, Difraksi Sinar-X.

#### **3.2 Pembuatan Elektroda TiO<sub>2</sub>**

Larutan TiO<sub>2</sub> dibuat dengan menambahkan larutan suspense PVA sampai terbentuk pasta. Suspense PVA dibuat dengan menambahkan Polyvinyl Alcohol (PVA) sebanyak 10% berat ke dalam air kemudian diaduk pada temperatur 80 °C. Suspense tersebut ditambahkan pada bubuk TiO<sub>2</sub> sebanyak kurang lebih 10% volume kemudian diaduk sampai merata. Derajat viskositas dari pasta diatur supaya didapatkan pasta yang optimal. Jika diperlukan, ditambahkan air pada campuran PVA dan TiO<sub>2</sub>. Selanjutnya dilakukan deposisi TiO<sub>2</sub> pada substrat kaca berlapis TCO dengan teknik *casting*. Sebelumnya substrat TCO terlebih dahulu dicuci dengan sabun dan dibilas dengan etanol dan aseton. Selanjutnya pada ke

dua sisi TCO yang berhadapan ditutup dengan selotip scotch (3M) sekitar 5 mm dan pada kedua sisi lainnya ditutup sekitar 3 mm, sehingga bagian TCO yang dikosongkan seluas 1 cm<sup>2</sup>. Setelah itu larutan koloid TiO<sub>2</sub> didistribusikan secara merata di atas substrat kaca TCO dengan batang gelas. Kemudian di keringkan di udara dan scotch tape dibuka, selanjutnya dipanaskan pada suhu 130°C selama 25 menit.



Gambar 3.1 Ilustrasi Skema Deposisi Pasta TiO<sub>2</sub> Pada Kaca

### 3.3 Ekstraksi Maserasi Teh Hitam (*Camellia sinensis*)

Sampel teh hitam yang halus ditimbang sebanyak 100 gram dimasukkan kedalam erlenmeyer, kemudian direndam dengan campuran pelarut 42 mL aquades, 50 mL metanol 95%, dan 8 mL asam asetat p.a dalam erlenmeyer dan diaduk dengan menggunakan *shaker* dengan kecepatan 120 rpm (*rotation per minutes*) selama 5 jam (Hartini, 2004). Ekstraksi dilakukan pada erlenmeyer yang bagian luarnya telah dilapisi aluminium foil. Kemudian larutan ekstrak teh hitam disaring. Hasil yang didapat dipindahkan pada botol gelap dan terhindar dari sinar matahari.

### 3.4 Ekstraksi Maserasi Tinta Sotong (*Sepia acuelata*)

Ekstraksi dibuat dengan mengambil kantong tinta sotong (*Sepia acuelata*) dan memasukkan tintanya ke dalam wadah. Ekstrak tersebut dimasukkan kedalam erlenmeyer berbeda kemudian diaduk dengan menggunakan *shaker* dengan kecepatan 250 rpm (*rotation per minutes*) selama 1 jam kemudian didiamkan selama 24 jam. Ekstraksi dilakukan pada gelas beker yang bagian luarnya telah dilapisi aluminium foil. Kemudian larutan ekstrak tinta sotong (*sepia acuelata*) disaring. Ekstrak yang didapat dipindahkan pada botol gelap agar terhindar dari sinar matahari.

### 3.5 Pembuatan Elektrolit Gel Polimer

Larutan elektrolit iodide/triiodide dibuat dengan prosedur berikut :

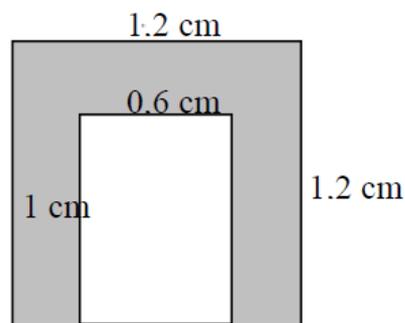
1. Sebanyak 0,8 gram kalium iodida (KI) dilarutkan ke dalam 10 mL asetonitril, kemudian diaduk
2. Sebanyak 0,127 gram Iodin ( $I_2$ ) ditambahkan ke dalam larutan tersebut, kemudian diaduk sampai rata
3. Larutan disimpan dalam botol tertutup

Elektrolit padat yang digunakan berbasis polimer PEG (polyethylene glycol) dengan berat molekul (BM) 400. Sebanyak 7 g PEG dilarutkan dengan 25 mL kloroform hingga membentuk gel, selanjutnya dimasukkan beberapa tetes larutan yang mengandung elektrolit redoks  $I^-/I_3^-$ . Campuran tersebut diaduk dengan pengaduk magnetik sambil dipanaskan pada suhu  $80^\circ C$  selama satu jam hingga homogen dan membentuk gel.

### 3.6 Pembuatan dan pengujian *Dye Sensitized Solar Cell* dengan *dye* ekstrak

#### teh hitam dan tinta sotong

TCO dipotong menjadi ukuran 1,2 x 1,2 cm dibentuk area tempat  $\text{TiO}_2$  dideposisikan dengan bantuan *Scotch tape* pada bagian kaca yang konduktif sehingga terbentuk area sebesar 1 x 0,6 cm dengan ilustrasi seperti pada Gambar 3.2 *Scotch tape* juga berfungsi sebagai pengatur ketebalan pasta  $\text{TiO}_2$ .

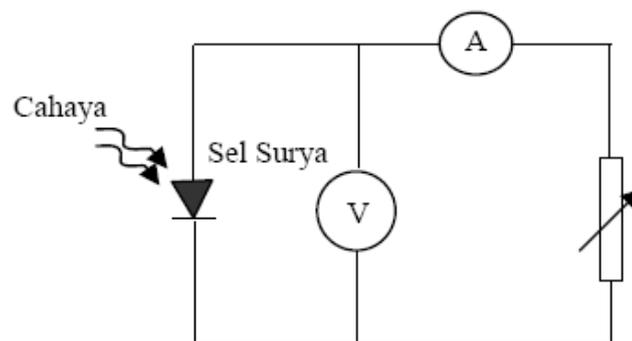


Gambar 3.2 Ilustrasi Skema Area Deposisi Pasta  $\text{TiO}_2$

Pasta  $\text{TiO}_2$  dilapiskan pada kaca TCO dengan pelapisan teknik *doctor blade* yaitu dengan bantuan batang pengaduk untuk meratakan pasta  $\text{TiO}_2$  lalu lapisan dikeringkan dengan cara dianginkan selama 15 menit dan dibakar/sentering pada suhu 130 °C selama 30 menit. Pemanasan dibutuhkan untuk membakar senyawa organik lain untuk menghasilkan aliran listrik yang bagus antara  $\text{TiO}_2$  pada elektroda kerja dan *counter* elektroda (karbon) (Barbé et al. 1997). Kenaikan temperatur pada proses pemanasan akan meningkatkan besarnya pori-pori pada lapisan  $\text{TiO}_2$  (Kalyanasundaram & Grätzel 1998).

Kemudian kaca TCO berlapis  $\text{TiO}_2$  direndam dalam ekstrak pewarna (*dye*) pada sebuah cawan petri dengan variasi perendaman 1 jam dan 2 minggu. Setelah kaca TCO direndam, kemudian dicuci menggunakan aquades dengan menggunakan pipet tetes dan dicuci kembali dengan menggunakan metanol, lalu dikeringkan dengan tissue (Pancaningtyas dan Akhlus, 2009).

Elektroda kerja berlapis  $\text{TiO}_2$  yang telah dibuat kemudian diletakkan diatas meja dengan posisi kaca TCO yang terlapis  $\text{TiO}_2$  di bagian atas. Elektroda kerja tersebut kemudian ditempelkan dengan elektroda pembanding (*counter electrode*) secara berhadapan. Di antara kedua elektroda diteteskan larutan elektrolit. Sisi kedua elektroda dijepit dengan menggunakan klip binder. Sel surya dihubungkan dengan kabel multimeter pada kedua sisinya, dengan kutub (+) adalah elektoda pembanding, dan kutub (-) adalah elektroda kerja. Sel surya yang telah terangkai, kemudian diuji dibawah terik sinar matahari. Arus dan tegangan yang terukur dicatat (Pancaningtyas dan Akhlus, 2009).



Gambar 3.3 Rangkaian Pengukuran Karakteristik I-V

### 3.7 Pembuatan Counter –Elektroda Karbon

Sumber karbon didapatkan dari graphite pensil. Graphite diarsirkan ke TCO pada bagian konduktifnya kemudian dipanaskan pada temperatur 450 °C selama 10 menit agar graphite membentuk kontak yang baik antara partikel karbon dengan TCO.

### 3.8 Pengujian Nanopori TiO<sub>2</sub>

Bubuk TiO<sub>2</sub> diuji menggunakan *X-Ray Diffractometer* (XRD) untuk mengetahui fasa dan ukuran kristalnya. Struktur kristal dianalisa pada rentang sudut  $2\theta$  10° – 90°. untuk menghitung ukuran kristal digunakan persamaan Scherrer :

$$t = \frac{K \lambda}{B \cos \theta_B}$$

Dimana t adalah ukuran Kristal, K adalah konstanta bernilai 0,94,  $\lambda$  adalah panjang gelombang Bragg, B adalah nilai FWHM (Full-Width Half Maximum) dan  $\theta$  adalah sudut Bragg. Analisa fasa dilakukan dengan menggunakan program Match.

### 3.9 Analisa ekstrak kasar teh hitam dan tinta sotong menggunakan instrumen Spektrofotometer UV-Vis

Larutan hasil ekstraksi yang diperoleh diambil sebanyak 2 mL kemudian dilarutkan dengan pelarut metanol dimasukkan ke dalam kuvet dan diukur pada

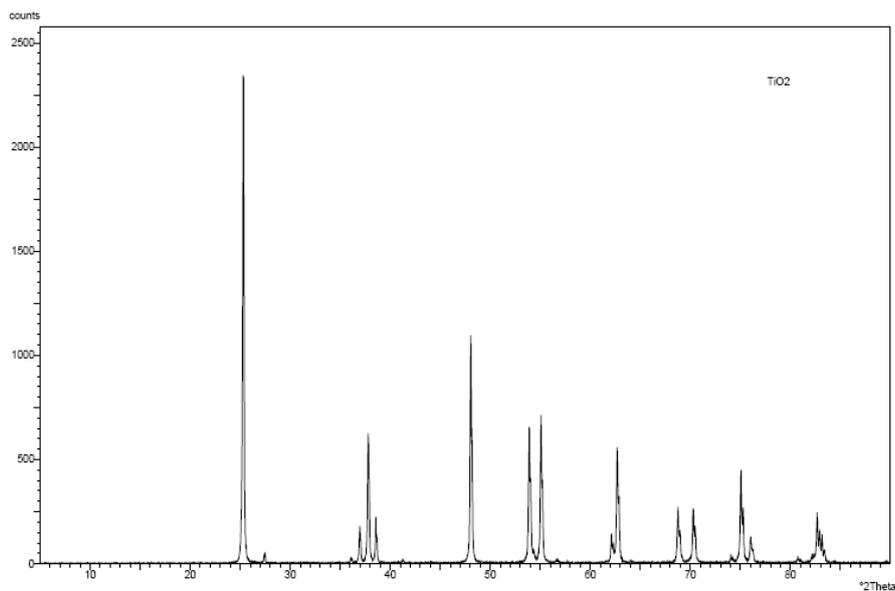
panjang gelombang 200 - 800 nm kemudian diamati panjang gelombang maksimumnya (Arishandy, 2010).

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Karakterisasi TiO<sub>2</sub> menggunakan Difraksi Sinar-X

Senyawa TiO<sub>2</sub> hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan instrumen Difraksi Sinar X di Laboratorium IBID ITS (Institut Teknologi Sepuluh November) Surabaya. Hasil karakterisasi XRD ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil Karakteristik Difraktogram TiO<sub>2</sub>

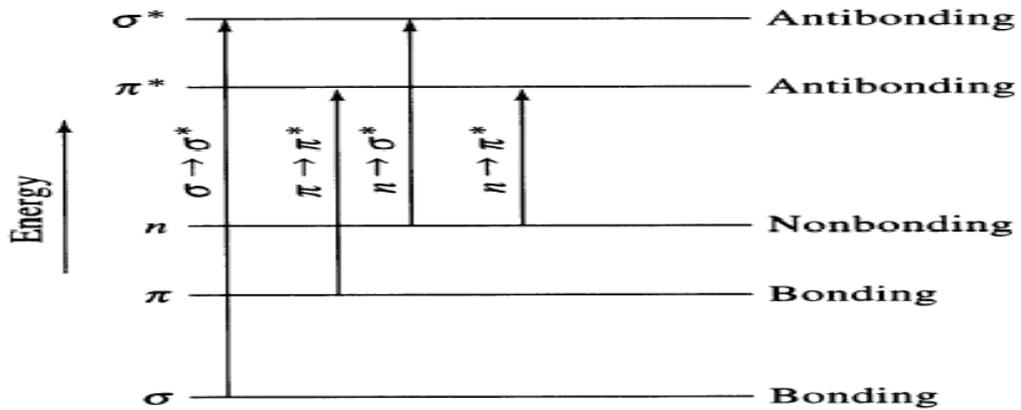
Grafik menunjukkan bahwa TiO<sub>2</sub> memiliki intensitas yang tinggi. Hal ini menunjukkan TiO<sub>2</sub> memiliki derajat kristalinitas yang tinggi sehingga proses difusi elektron akan lebih cepat sehingga proses transfer elektron secara keseluruhan dalam SSPT lebih tinggi sehingga dapat meningkatkan efisiensinya.

Dari hasil pola difraksi yang diperoleh, sampel  $\text{TiO}_2$  memiliki puncak pada sudut  $2\theta$  sekitar  $25^\circ, 36^\circ, 37^\circ, 38^\circ, 48^\circ, 53^\circ, 55^\circ, 52^\circ, 68^\circ, 70^\circ, 74^\circ, 75^\circ$ , yang bersesuaian dengan puncak-puncak yang dimiliki oleh fasa anatase berdasarkan data JCPDS No. 21-1276 pada lampiran. Penentuan fasa Kristal  $\text{TiO}_2$  ini diperkuat dengan hasil dari analisis menggunakan program Match. Dari program didapatkan bahwa seluruh puncak yang sesuai dengan hasil difraksi sampel adalah  $\text{TiO}_2$  dengan fase kristal anatase (lampiran 2). Fase anatase sangat berpengaruh dalam sel surya karena memiliki kemampuan fotoaktif yang tinggi.

Ukuran kristal dihitung menggunakan persamaan Scherer. Dari hasil perhitungan (lampiran 4) didapatkan rata-rata ukuran kristal  $\text{TiO}_2$  adalah 2,6 nm. Dalam aplikasi sel surya  $\text{TiO}_2$  tersensitisasi dye, ukuran partikel  $\text{TiO}_2$  berskala nanometer ini memiliki kelebihan dapat menampung dye lebih banyak karena semakin kecil ukuran kristal, semakin banyak rongga yang terbentuk.

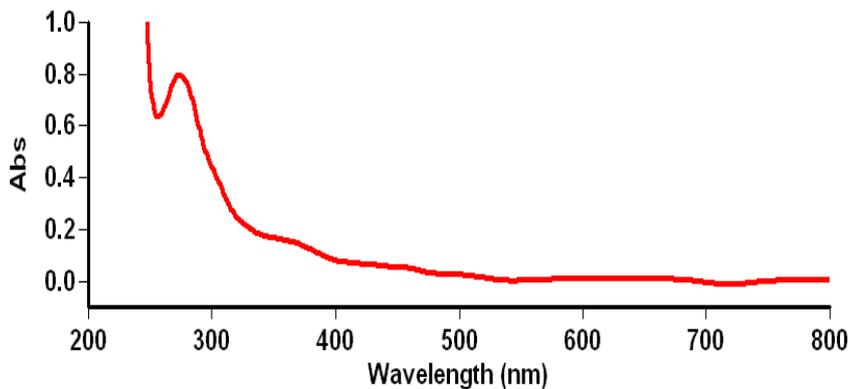
#### **4.2 Analisa Spektra UV-Vis Ekstrak Kasar Teh Hitam dan Tinta Sotong**

Analisa ekstrak kasar teh hitam menggunakan spektrofotometer UV-Vis dilakukan untuk mengetahui daerah serapan panjang gelombang maksimum kandungan senyawa kimia yang terkandung dalam ekstrak kasar tersebut. Spektrofotometer UV-Vis merupakan instrumen yang dapat digunakan untuk keperluan analisa kualitatif maupun kuantitatif. Dalam penelitian ini, analisa yang dilakukan adalah analisa kualitatif, yaitu dengan mempelajari transisi elektron-elektron yang terjadi pada tingkatan orbital tertentu akibat adanya energi. Transisi elektron pada berbagai tingkatan orbital ditampilkan pada gambar berikut ini.

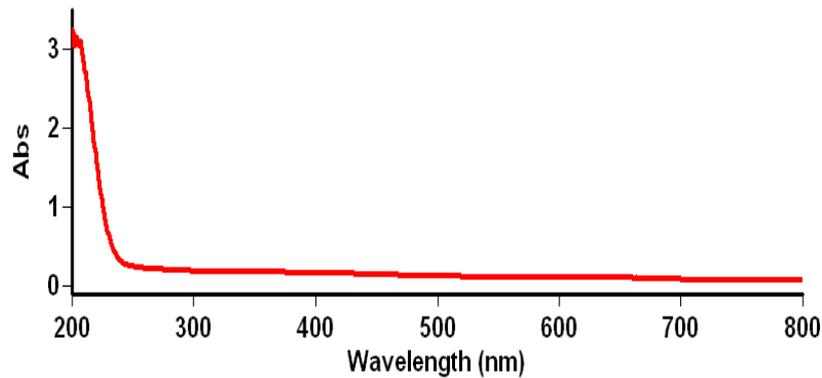


Gambar 4.2 Transisi Elektron

Hasil spektra UV-Vis ekstrak kasar teh hitam menunjukkan adanya serapan panjang gelombang maksimum pada daerah 232-240 nm. Sedangkan pada hasil spektra UV-Vis ekstrak kasar tinta sotong menunjukkan serapan panjang gelombang maksimum pada daerah 203-207 nm. Hal ini mengindikasikan adanya transisi elektron dari orbital  $n \rightarrow \pi^*$  dan orbital  $\pi \rightarrow \pi^*$  pada kedua ekstrak kasar tersebut. Berikut berturut-turut ditampilkan gambar spektra UV-Vis ekstrak kasar teh hitam dan tinta sotong.



Gambar 4.3 Spektra UV-Vis Ekstrak Kasar Teh Hitam



Gambar 4.4 Spektra UV-Vis Ekstrak Kasar Tinta Sotong

Adanya transisi elektron dari orbital  $n \rightarrow \pi^*$  dan orbital  $\pi \rightarrow \pi^*$  dapat dijadikan asumsi awal adanya ikatan rangkap dalam struktur kandungan senyawa kimia kedua ekstrak kasar tersebut. Kemungkinan serapan tersebut dapat ditimbulkan akibat adanya ikatan C=O, C=N atau C=C.

#### 4. 3 Analisa Sel Surya Pewarna Tersentisisasi

Sel surya yang sudah dirangkai kemudian dilakukan pengujian kemampuan konversinya dengan menggunakan penyinaran lampu halogen. Pada sel surya yang tanpa perendaman ekstrak pewarna didapatkan tegangan listrik sebesar 0,014 Volt pada ruangan tanpa sinar, dan 0,023 Volt ketika diletakkan di bawah lampu halogen. Pada sel surya yang direndam dalam ekstrak kasar teh hitam selama 1 jam, didapatkan nilai tegangan listrik pada ruangan tanpa sinar sebesar 0,364 Volt dan di bawah sinar lampu halogen tegangannya adalah 0,401 Volt. Pada sel surya yang direndam dalam ekstrak kasar teh hitam selama 2 minggu didapatkan hasil tegangan listrik pada ruangan tanpa sinar sebesar 0,113 Volt dan dibawah sinar lampu tegangannya sebesar 0,18 Volt. Hal ini

menunjukkan bahwa pada perendaman 1 jam dalam ekstrak pewarna alami yang menempel pada  $\text{TiO}_2$  dapat meningkatkan kinerja sel surya sehingga tegangan yang didapatkan lebih tinggi. Pada saat penyinaran, jumlah pasangan elektron-hole pada daerah persambungan  $\text{TiO}_2/\text{dye}/\text{carbon}$ . Pasangan elektron akan terpisah dengan adanya medan listrik yang kemudian akan berkontribusi pada tegangan dan arus yang dihasilkan. Tapi perendaman yang terlalu lama justru dapat menyebabkan nilai tegangan yang dihasilkan menurun. Hal ini disebabkan karena semakin banyak pewarna (*dye*) yang menempel pada  $\text{TiO}_2$  menghambat terjadinya eksitasi elektron.

Pengukuran tegangan listrik pada sel surya yang direndam dalam ekstrak kasar tinta sotong tidak dapat dilakukan karena lapisan  $\text{TiO}_2$  dan pewarna tidak menempel dengan baik pada kaca konduktor. Ekstrak tinta sotong yang cenderung berbentuk koloid dan memiliki viskositas yang tinggi, berpengaruh pada proses perendaman sel surya. Dalam proses tersebut diperkirakan zat warna tidak dapat terabsorpsi dengan baik pada  $\text{TiO}_2$  dan cenderung membentuk lapisan baru yang menutupi lapisan  $\text{TiO}_2$ , akibatnya nilai tegangan listrik sel surya tidak dapat diukur.

Pengujian pada arus listrik sel surya tidak menunjukkan hasil karena sensitivitas alat yang kurang tinggi, sehingga tidak dapat mengukur arus yang sangat kecil. Rendahnya nilai arus dipengaruhi oleh lama perendaman, semakin berkurangnya lapisan zat pewarna, ketebalan  $\text{TiO}_2$  dan disposisi  $\text{TiO}_2$  pada substrat TCO yang kurang sempurna. Penggunaan ekstrak kasar teh hitam juga masih kurang baik karena daerah serapannya tidak lebar sehingga sinar lampu

tidak dapat diserap secara maksimal. Dengan kurang luasnya daerah serapan menyebabkan foton yang diserap semakin kecil sehingga arus yang dihasilkan kecil.

Pada saat pengukuran, nilai tegangan menunjukkan angka yang tidak stabil. Hal ini disebabkan karena enkapsulasi sel surya yang kurang sempurna sehingga larutan elektrolit mudah sekali menguap oleh panas sumber cahaya.

Kelemahan sel surya organik adalah kestabilan tegangannya rendah dan terjadi penurunan tegangan yang cepat pada kondisi penyinaran. Parameter-parameter fotovoltaiik yang terukur sangat dipengaruhi oleh struktur lapisan aktif penyusun sampel yaitu  $\text{TiO}_2$  dan larutan dye. Ketebalan lapisan yang terlalu besar dengan struktur permukaan yang tidak homogen dapat memperbesar hambatan internal sel sehingga mengurangi mobilitas muatan yang melewati sel.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Rangkaian sel surya menggunakan kristal semikonduktor  $\text{TiO}_2$ , larutan elektrolit  $\text{I}^-/\text{I}_3^-$ , elektroda karbon, kaca konduktor dan pewarna alami. Zat pewarna alami (*dye*) yang digunakan berasal dari ekstrak kasar teh hitam dan tinta sotong. Analisa menggunakan Difraksi Sinar-X menunjukkan bahwa kristal  $\text{TiO}_2$  merupakan fase kristal anatase dengan ukuran kristal sebesar 2,6 nm. Hasil spektra UV-Vis ekstrak kasar teh hitam dan tinta sotong menunjukkan range daerah serapan panjang gelombang berturut-turut yaitu 232-240 nm dan 203-207 nm.

Nilai tegangan listrik sel surya tanpa perendaman, pada ruangan tanpa sinar dan di bawah lampu halogen berturut-turut sebesar 0,014 Volt dan 0,023 Volt. Nilai tegangan listrik sel surya yang direndam dalam ekstrak kasar teh hitam selama 1 jam pada ruangan tanpa sinar dan di bawah lampu halogen berturut-turut sebesar 0,364 Volt dan 0,401 Volt. Sedangkan yang direndam selama 2 minggu berturut-turut sebesar 0,113 Volt dan 0,18 Volt. Nilai tegangan listrik sel surya yang direndam dalam ekstrak tinta sotong tidak dapat diukur, begitu juga dengan nilai arus listrik sel surya yang direndam dalam ekstrak kasar teh hitam dan tinta sotong.

## **5.2 Saran**

Pada penelitian lanjutan, dalam rangkaian sel surya perlu digunakan kaca konduktor yang memiliki nilai hambatan yang lebih rendah dan konduktivitas yang lebih tinggi. Cara pelapisan  $\text{TiO}_2$  dan proses ekstraksi zat pewarna juga perlu dieksplorasi lebih lanjut.

## DAFTAR PUSTAKA

Chmiel, Gehring, Uhlendorf, 1998, *Dye sensitized solar cells (SSPT) : Progress toward application*, 2<sup>nd</sup> World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion, 6 July Vienna Austria

Fiore, Poli, Cosmo, 2004, *Dopamine in teh ink defence sistem sepia officinalis : biosyntehsis vesicular compartmentation in mature gland cells nitric oxide (NO)/cGMP –induced depletion and fate in secreted ink*, J. Biochem., 378, 785-791

Gratzel, 2004, *Conversion of sunlight to electric power by nanocrystalline dye-sensitized solar cells*, J. Photochem. Photobiol. A: Chem, 164, 3-14

Halme, 2002, *Dye-sensitized nanostructured and organik photovoltaic cells : technical review and preliminary tests*, Master's tehsis, Departemen of Engineering Physics and Matehmatics, Helsinki University of Technology, Espoo

Kartini, 2009, *Rekayasa Material Berbasis Sumber Daya Alam Silika-Alumina : Sel Surya berbasis Sistem Sandwich Nanokristal Semikonduktor Celah Lebar dan Zat Warna Alam (Natural Dye-sensitized Solar Cells)*, FMIPA UGM, 3-38

Kay dan Gratzel, 1996, *Low cost photovoltaic modules based on dye sensitized nanocrystalline titanium dioxide and carbon powder*, Sol. Energy Mater. Sol. Cells, 44, 99-177

Li L., Wang, P. Wang, 2006, *Sol. Energy Mater*, Sol. Cells 90, 546

Maddu, Zuhri, 2007, *Penggunaan Ekstrak Antosianin Kol Merah sebagai Fotosinsitizer Sel Surya TiO<sub>2</sub> Nanokristal tersensitisasi Dye*, Makara, Teknologi, Vol 11, 2, 78-84

O'Regan, B and M. Gratzel, 1991, *A low cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO<sub>2</sub> film*, Nature, 353, 737-739

Sirimanne, Senevirathna, Premalal, Sivakumar, 2006, *Utilization of Natural Pigment Extracted from Pomegranate Fruits as Sensitizer in Solid-State Solar Cells*, J. Photochem, Photobiol, A: Chem, 177, 324-327

Smestad dan Gratzel, 1998, *Demonstrating Electron Transfer and Nanotechnology : A natural Dye-sensitized Nanocrystalline Energy Converter*, J. Chem. Educ, 75, 752-756

Spitler, Mark, Anne, 2002, *Spektral Sensitization of Nanocrystalline Solar Cell*, United States Patent 6, 359, 211

Tanaka, Inoue, Betsumiya, 2001, *Two type of oxidative dimerization of teh black tea polivenol teaflavin*, J. Agric. Food Chem., 49, 5785-5789

Wolfbauer, Bond, Eklund, 2001, *A channel flow cell sistem specifically designed to test teh efficiency of redox shuttles in dye sensitized solar cells*, Sol. Energy Mater. Sol. Cells, 70, 85-101

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Data Hasil Karakterisasi Difraktogram TiO<sub>2</sub>

X'Pert Graphics & Identify User-1  
 (searched) peak list: TiO2\_7sept11 Date: 9/7/11 23:34

Description:  
 Ema Hastuti(Fisika UIN Malang)

Original scan: TiO2\_7sept11  
 Scan created: 9/7/11 10:19  
 Description of scan:  
 Ema Hastuti(Fisika UIN Malang)

Used wavelength: K-Alpha  
 Wavelength (Å): 1.54056

Peak search parameter set: As Measured Intensities  
 Set created: 10/15/10 03:58  
 Peak positions defined by: Minimum of 2nd derivative  
 Minimum peak tip width (°2Theta): 0.00  
 Maximum peak tip width (°2Theta): 1.00  
 Peak base width (°2Theta): 2.00  
 Minimum significance: 0.60

d-spacing (Å)	Relative Intensity (%)	Angle (°2Theta)	Peak Height (counts)	Background (counts)	Tip Width (°2Theta)	Significance
12.18570	0.13	7.24837	3.04	1.88	0.06000	0.79
5.95508	0.15	14.86387	3.53	2.42	0.12000	0.65
5.25269	0.18	16.86509	4.28	2.58	0.12000	0.65
3.51476	100.00	25.31890	2359.69	4.91	0.16000	30.92
3.24664	1.77	27.44913	41.72	4.38	0.16000	3.89
3.13190	0.08	28.47556	1.88	4.12	0.32000	0.61

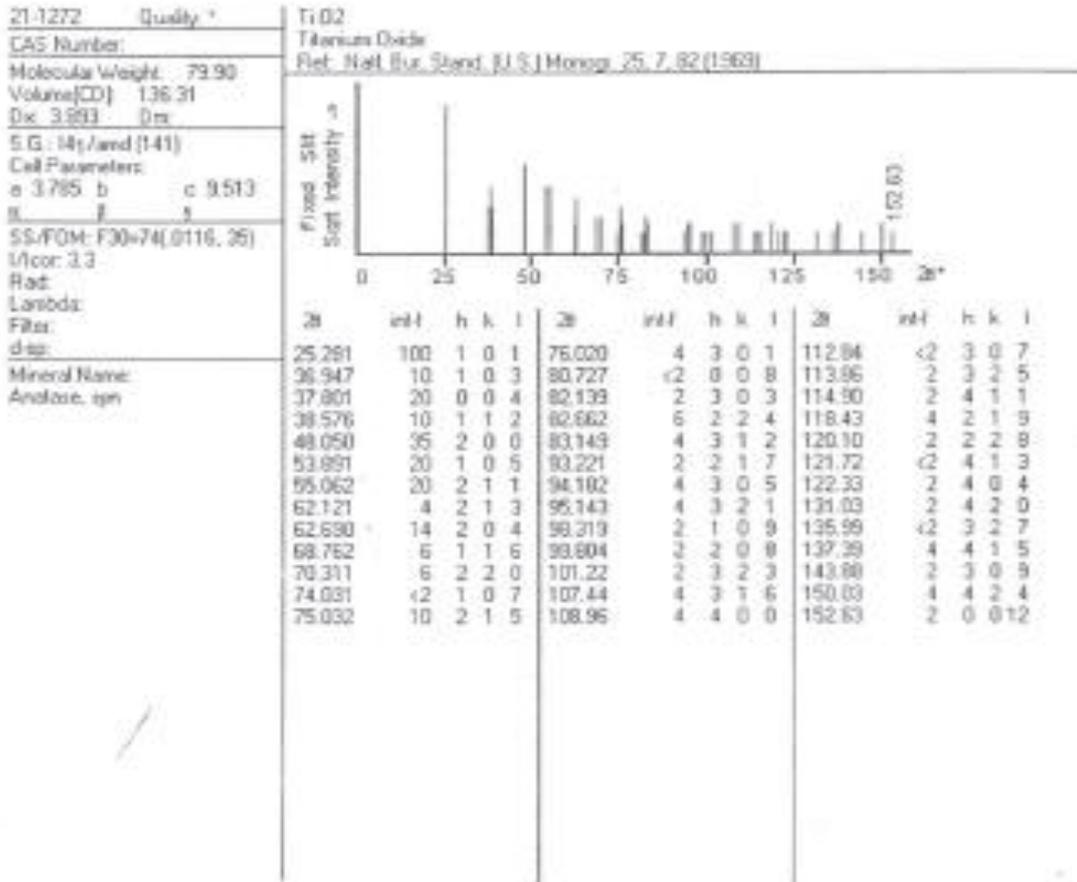
Philips Analytical

Page: 1

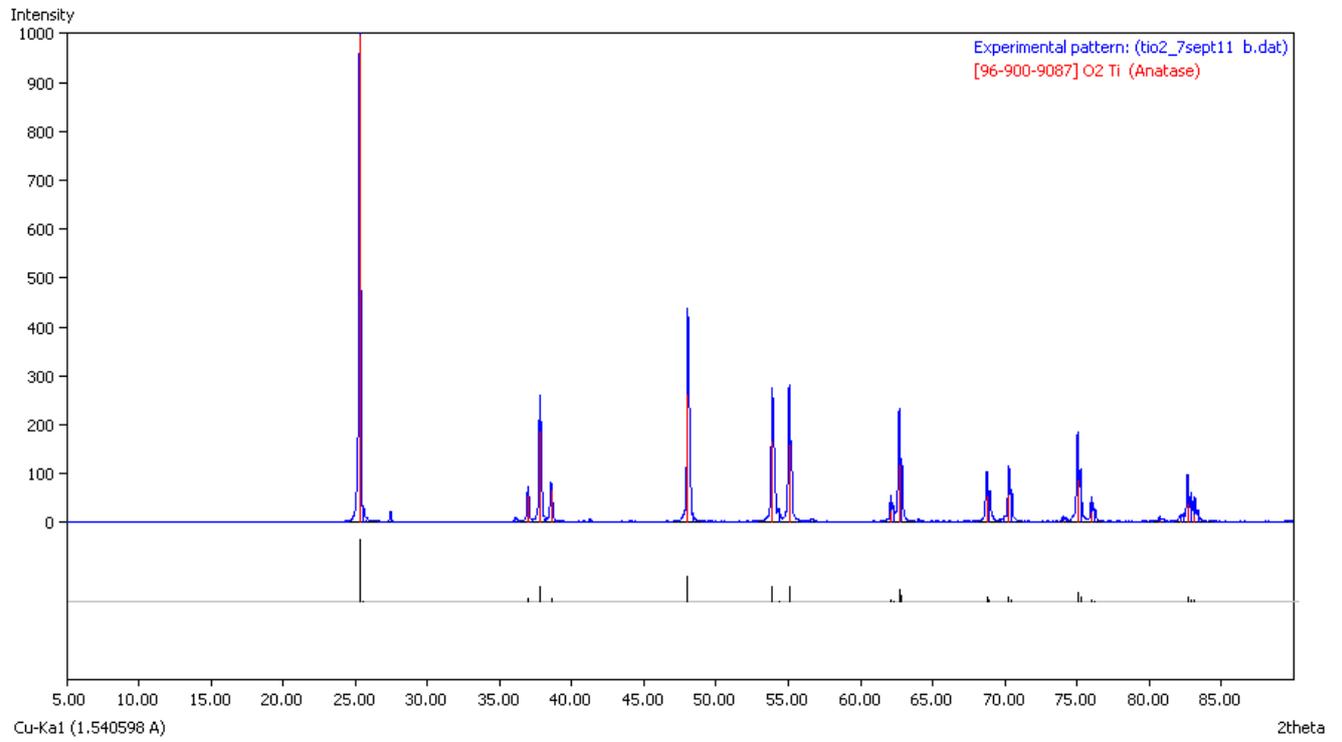
d-spacing (Å)	Relative Intensity (%)	Angle (°2Theta)	Peak Height (counts)	Background (counts)	Tip Width (°2Theta)	Significance
2.48765	1.05	36.07524	24.88	3.89	0.10000	1.01
2.43037	7.52	36.95580	177.43	3.89	0.10000	2.62
2.37789	25.16	37.80206	593.71	3.89	0.14000	8.14
2.33233	9.37	38.56937	221.17	3.89	0.06000	0.87
2.18617	0.56	41.26126	13.26	3.88	0.16000	1.18
2.05395	0.38	44.05158	8.87	4.09	0.08000	0.66
1.89218	45.87	48.04390	1082.33	6.07	0.08000	4.05
1.88699	25.34	48.18436	597.89	6.14	0.06000	1.13
1.77024	0.09	51.58667	2.17	4.96	0.04000	0.68
1.73816	0.22	52.61116	5.22	4.96	0.10000	0.64
1.69962	27.66	53.89941	652.60	4.96	0.10000	4.24
1.69541	15.75	54.04407	371.74	4.96	0.08000	1.26
1.66627	30.10	55.06831	710.34	4.97	0.10000	5.34
1.66193	15.80	55.22442	372.85	4.97	0.06000	3.01
1.62371	0.65	56.63981	15.37	4.97	0.20000	1.18
1.49313	5.55	62.11303	130.91	4.16	0.10000	2.48
1.48935	4.10	62.28795	96.69	4.19	0.06000	0.82
1.48077	23.44	62.68965	553.11	4.25	0.10000	4.41
1.47664	10.49	62.88517	247.44	4.28	0.10000	2.00
1.45286	0.51	64.03533	11.94	4.46	0.12000	0.65
1.41035	0.37	66.20804	8.72	4.80	0.06000	0.77
1.36417	11.31	68.75615	266.78	5.20	0.10000	2.37
1.36067	6.56	68.95793	154.77	5.23	0.10000	1.81
1.35230	0.23	69.44592	5.42	5.31	0.12000	0.62
1.33807	11.03	70.29226	260.37	5.44	0.10000	2.91
1.33484	6.57	70.48796	155.03	5.47	0.10000	1.72
1.27896	1.12	74.06528	26.37	5.63	0.08000	0.80
1.26454	17.88	75.05425	421.98	5.56	0.10000	3.81

d-spacing (Å)	Relative Intensity (%)	Angle (°2Theta)	Peak Height (counts)	Background (counts)	Tip Width (°2Theta)	Significance
1.26151	11.17	75.26603	263.54	5.55	0.08000	1.94
1.25072	5.17	76.02991	122.11	5.50	0.10000	1.18
1.24694	2.02	76.30226	47.57	5.48	0.08000	0.64
1.18919	0.98	80.74243	23.09	5.26	0.12000	1.39
1.17246	1.14	82.13985	26.91	5.32	0.12000	0.70
1.16613	9.30	82.68256	219.37	5.34	0.12000	4.21
1.16338	6.46	82.92114	152.52	5.35	0.08000	0.74
1.16057	5.75	83.16687	135.77	5.36	0.08000	1.06
1.15796	2.33	83.39566	55.06	5.37	0.12000	0.69
1.10608	0.08	88.27892	2.00	4.29	0.48000	0.63

Lampiran 2. Data JCPDS Fasa Anatase



### Lampiran 3. Hasil Program MATCH



Lampiran 4. Perhitungan Ukuran Kristal

<b>2 <math>\theta</math></b>	<b><math>\theta</math></b>	<b>FWHM</b>	<b>cos <math>\theta</math></b>	<b>D</b>
25.3189	12.65945	0.16	0.995671	9.090139
36.9558	18.4779	0.1	0.931727	15.54239
37.80206	18.90103	0.14	0.998676	10.35748
38.56937	19.28469	0.06	0.906816	26.6156
48.0439	24.02195	0.08	0.443953	40.77367
53.89941	26.94971	0.1	-0.24369	-59.4252
55.06831	27.53416	0.1	-0.73835	-19.6131
62.11303	31.05652	0.1	0.936104	15.46972
62.68965	31.34483	0.1	0.997473	14.51795
68.75615	34.37808	0.1	-0.98394	-14.7176
70.29226	35.14613	0.1	-0.83171	-17.4114
74.06528	37.03264	0.08	0.786008	23.02977
75.05425	37.52713	0.1	0.985247	14.69811
76.02991	38.01496	0.1	0.950535	15.23486
80.74243	40.37122	0.12	-0.8918	-13.5319
82.13985	41.06993	0.12	-0.97384	-12.3918
83.16687	41.58344	0.08	-0.73662	-24.5737
			<b>jumlah</b>	<b>23.665</b>
			<b>rata2</b>	<b>2.629445</b>

Lampiran 5. Hasil Ekstraksi Maserasi Teh Hitam



Lampiran 6. Pemekatan Ekstrak Teh Hitam Menggunakan *Rotary Evaporator Vaccum*



Lampiran 7. Preparasi Sotong



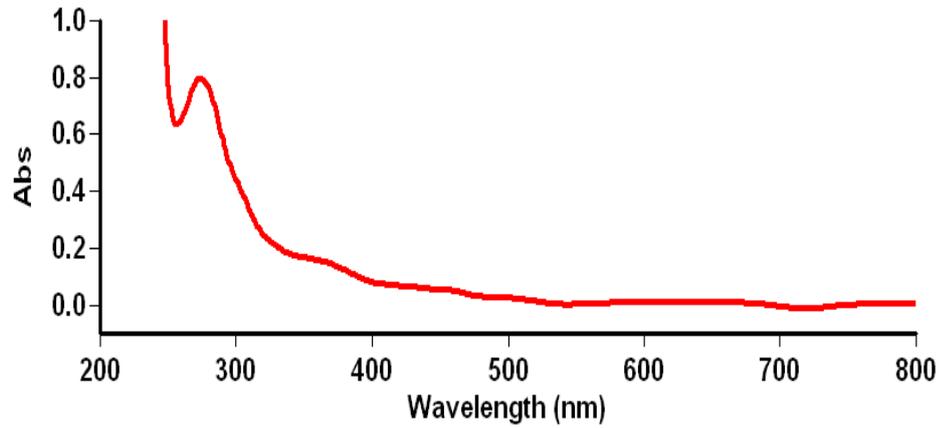
Lampiran 8. Pengambilan Kantung Tinta Sotong



Lampiran 9. Hasil Ekstrak Kasar Tinta Sotong



Lampiran 10. Spektra UV-Vis Ekstrak Kasar Teh Hitam



Sample Name: Teh Hitam pekat

Collection Time 10/29/2011 1:02:22 AM

Peak Table

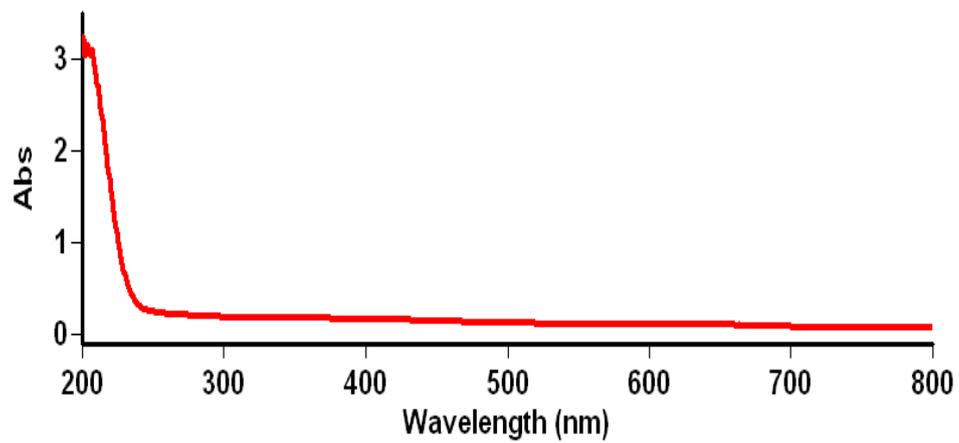
Peak Style Peaks

Peak Threshold 0.0100

Range 800.0nm to 200.0nm

Wavelength (nm)	Abs
273.0	0.797
240.0	10.000
238.0	10.000
233.9	10.000
232.0	10.000
225.0	3.810
223.0	4.141
219.0	3.675
217.0	3.462
214.0	3.892
211.0	3.760
208.0	3.666
203.0	3.851

Lampiran 11. Spektra UV-Vis Ekstrak Kasar Tinta Sotong



Sample Name: tinta cumi

Collection Time 11/14/2011 9:09:42 PM

Peak Table

Peak Style	Peaks
Peak Threshold	0.0100
Range	800.0nm to 200.1nm

Wavelength (nm)	Abs
207.0	3.100
203.0	3.165